

あて材の科学

樹木の重力応答と
生存戦略

吉澤伸夫 監修

日本木材学会 組織と材質研究会 編

編集代表／石栗 太・高部圭司・藤井智之・
船田 良・山本浩之・横田信三



海青社



あて材の科学

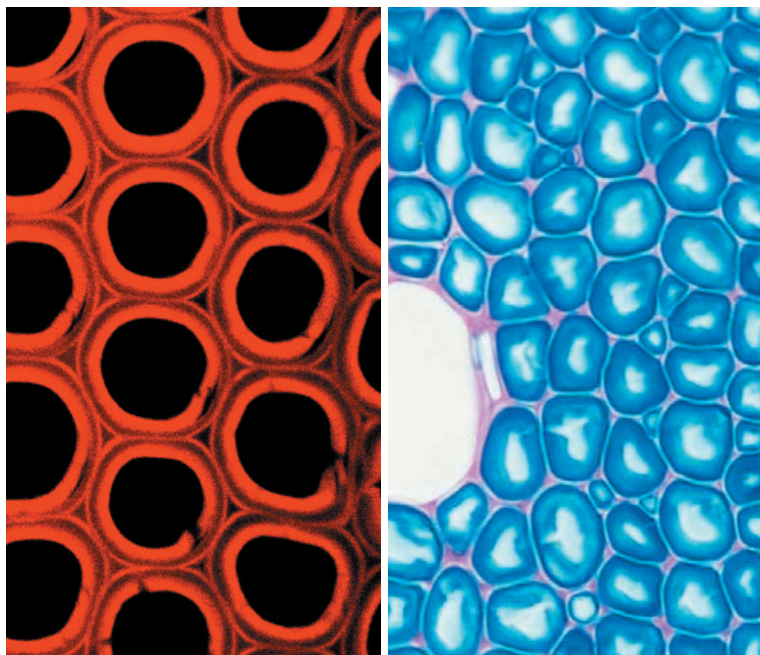
樹木の重力応答と生存戦略

吉澤伸夫 監修

日本木材学会 組織と材質研究会 編

編集代表／石栗 太・高部圭司・藤井智之・

船田 良・山本浩之・横田信三



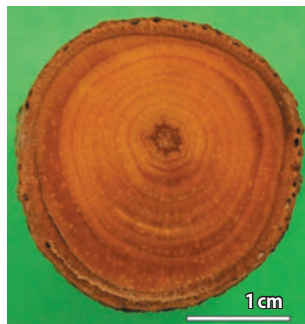
左：針葉樹の圧縮あて材（トドマツ）、右：広葉樹の引張あて材（ハリギリ）（船田 良提供）



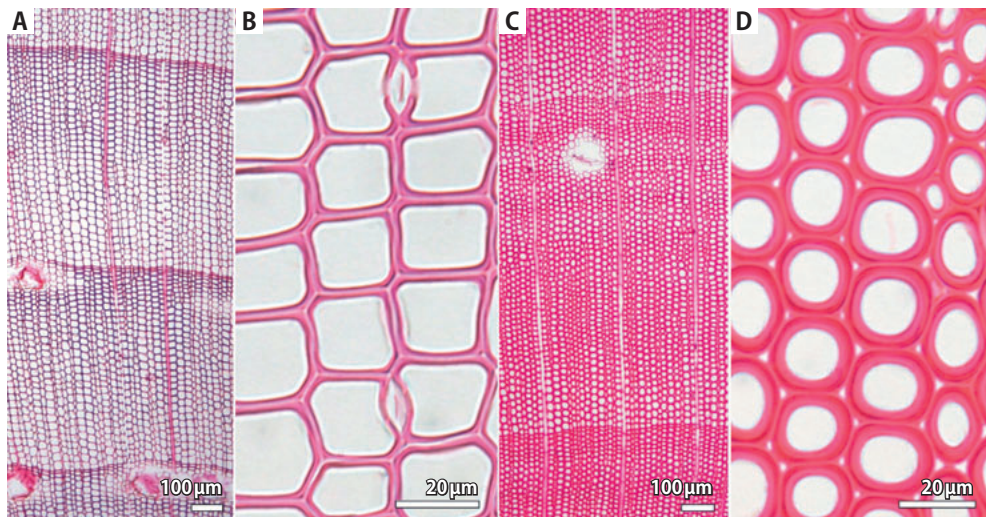
海青社



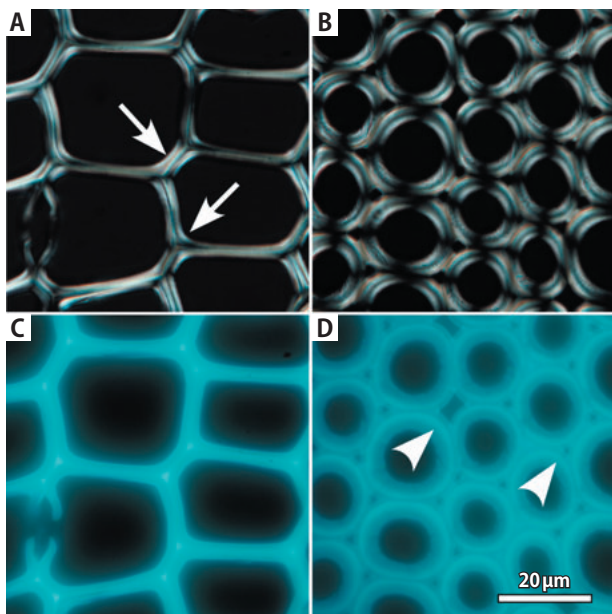
1. 針葉樹では、傾斜した幹や枝の下側に圧縮あて材が形成される。写真は、積雪量の多い地域で生育したスギ(*Cryptomeria japonica*)で、地上高約1mの高さまでで曲がりが生じている。この曲がりが生じている部分の矢印で示した側に圧縮あて材が形成されている。(相蘇良能氏提供)



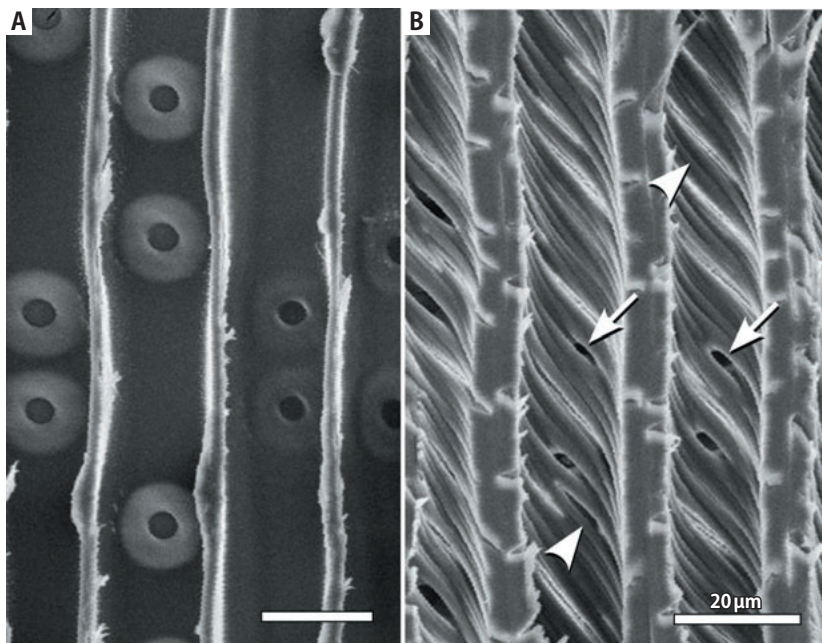
2. ヒメコマツ(*Pinus parviflora*)の枝の実体顕微鏡写真。圧縮あて材は、傾斜した幹や枝の下側に偏心成長を伴って形成される。圧縮あて材は、暗褐色をしており、そのため、晩材との区別が付きにくい。



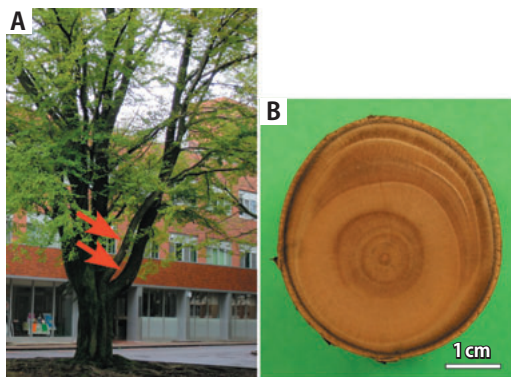
3. ヒメコマツ(*Pinus parviflora*)の枝のオポジット材(AおよびB)と圧縮あて材(CおよびD)の横断面光学顕微鏡写真。圧縮あて材が形成されると、横断面でみた場合、仮道管壁が厚くなり、円形化する。そのため、圧縮あて材では、早材と晩材との区別が付きにくく、また、細胞間隙が目立つようになる。



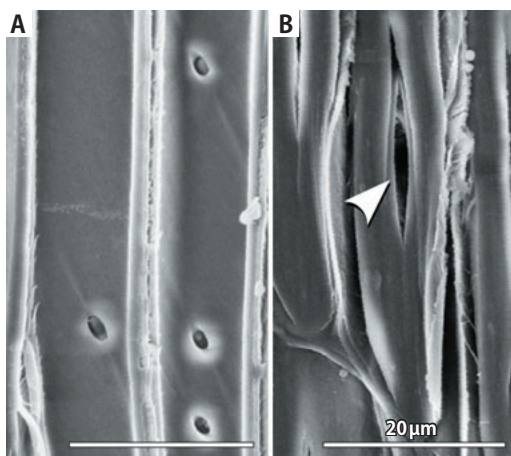
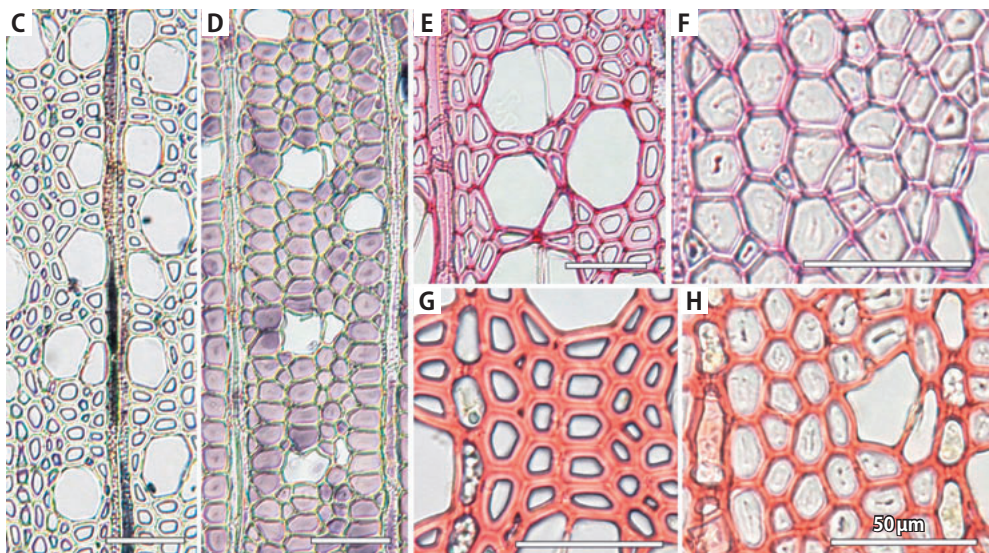
1. ヒメコマツ (*Pinus parvifolia*) のオボジツ材(AおよびC)とあて材(BおよびD)の偏光顕微鏡写真(AおよびB)および蛍光顕微鏡写真(CおよびD)。圧縮あて材が形成されると、仮道管のS₃層(A矢印)が欠落し(B)、S₂層にはリグニン濃度の高いS₂(L)層が形成される(D矢頭)。



2. ヒメコマツ (*Pinus parvifolia*) のオボジツ材(A)とあて材(B)の放射断面の走査電子顕微鏡写真。オボジツ材では、仮道管壁に円形の有縁壁孔が観察される。あて材仮道管壁では、らせん状の裂目が形成されるとともに(矢頭)、壁孔孔口がスリット状を呈する(矢印)。

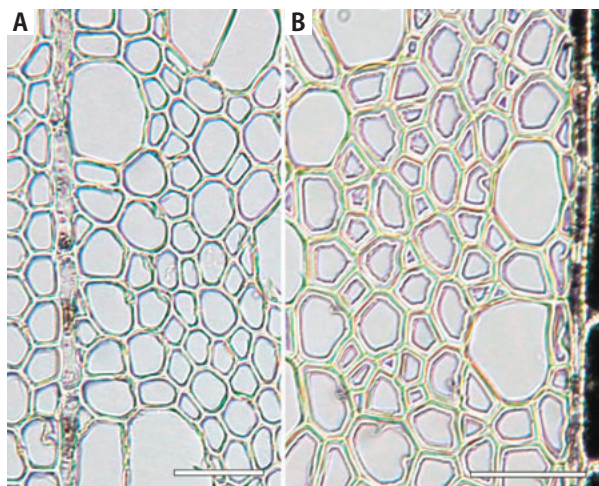


1. カツラ (*Cercidiphyllum japonicum*) の樹型 (A)、枝材円盤写真 (B)、オボジット材 (C、E および G) および引張あて材 (D、F および H) の横断面光学顕微鏡写真。広葉樹では、傾斜した幹や枝の上側 (A の矢印) に偏心成長が生じて、引張あて材が形成される。円盤を観察すると、樹種によっては、あて材部が褐色となり肉眼でも確認できる場合もあるが (B)、多くの樹種では、肉眼では確認することが難しい。セルロース呈色試薬である塩化亜鉛ヨウ素により染色した場合 (C および D)、引張あて材部では、木繊維の最内層に紫色に染色される層が観察される (D)。

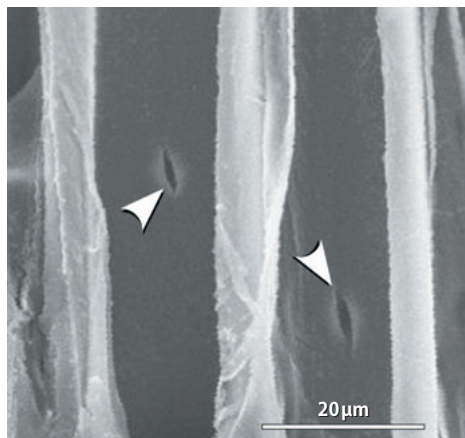
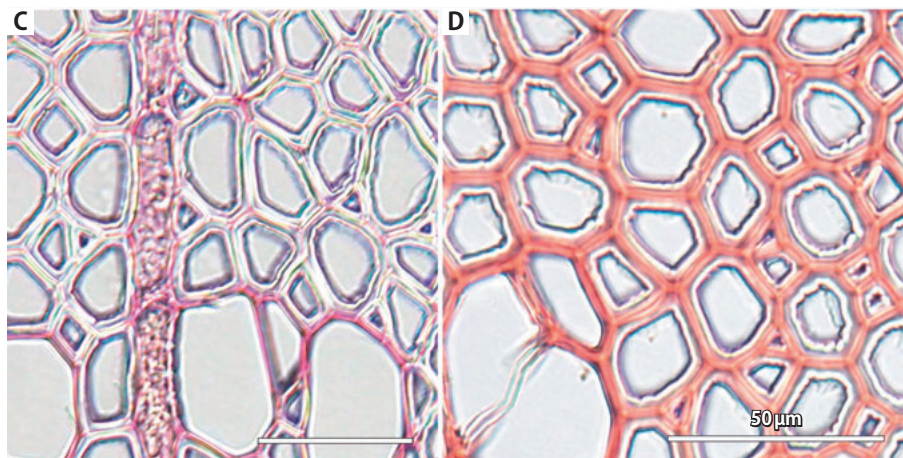


また、リグニン呈色反応である、フロログルシン-塩酸反応 (E および F) およびモイレ反応 (G および H) 後、オボジット材では木繊維二次壁全体が染色されるが (E および G)、引張あて材部では、木繊維最内層が染色されない。この層が、引張あて材の最大の特徴である、G 層であり、ほぼセルロースから構成されている。

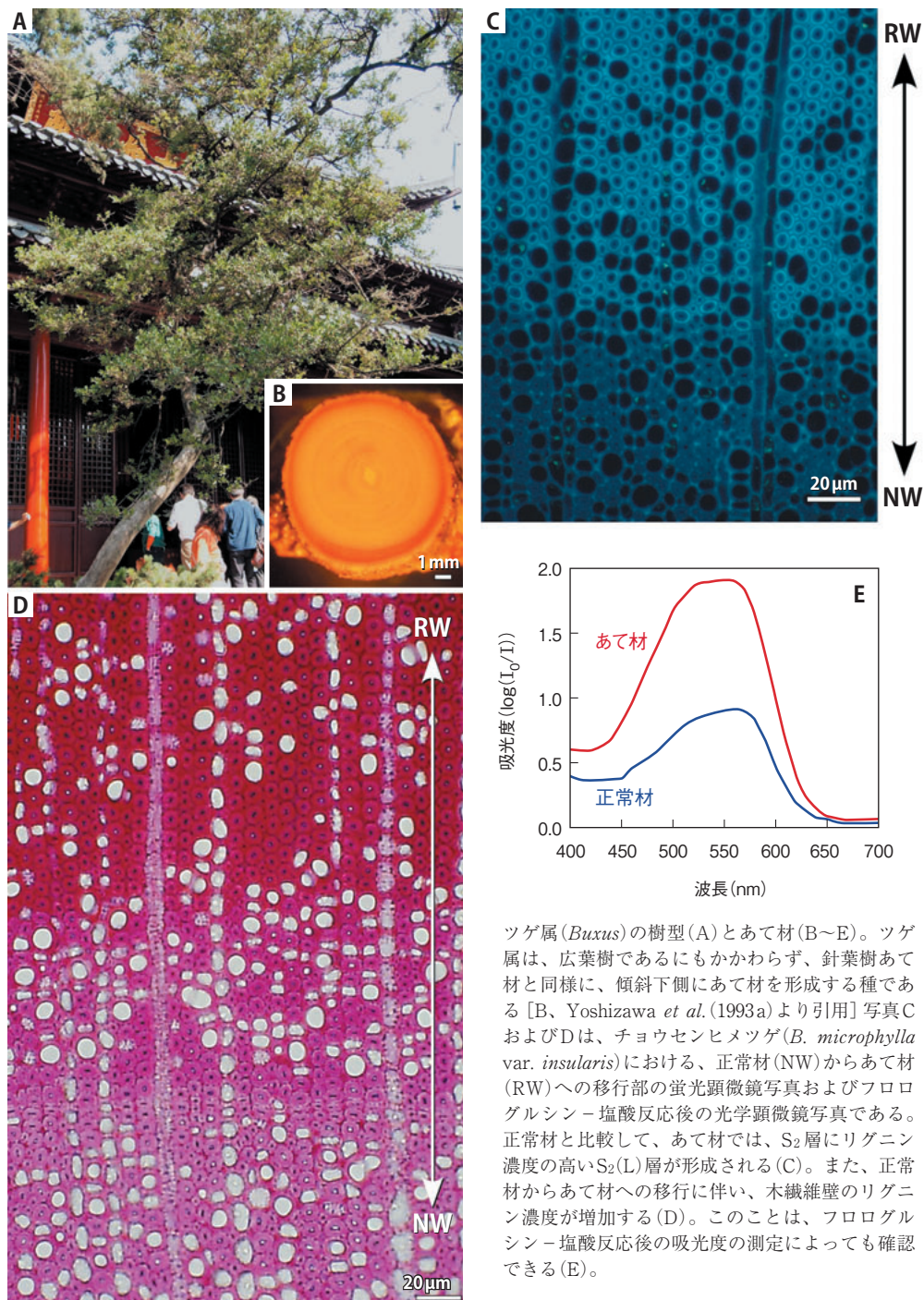
2. カツラ (*Cercidiphyllum japonicum*) のオボジット材 (A) とあて材 (B) の放射断面の走査電子顕微鏡写真。オボジット材では、木繊維壁にレンズ状の壁孔孔口が観察される。あて材木繊維壁では、G 層の形成に伴い、壁孔孔口が、細胞長軸に対してほぼ平行になる (矢頭)。

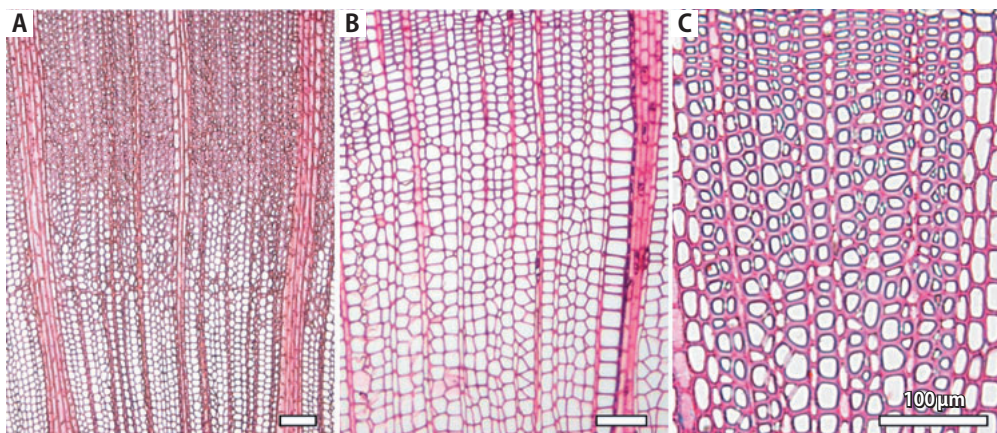


1. ユリノキ (*Liriodendron tulipifera*) のオポジット材(A)およびあて材(B、CおよびD)の横断面光学顕微鏡写真。一部の広葉樹では、傾斜した幹や枝の上側の木繊維において、塩化亜鉛ヨウ素試薬による呈色を示さず(B)、G層の形成が認められない。しかしながら、リグニン呈色反応において木繊維二次壁の染色性は低下する(CおよびD)。本書では、“G層を形成しないが傾斜上側にあて材を形成する種”と分類している。

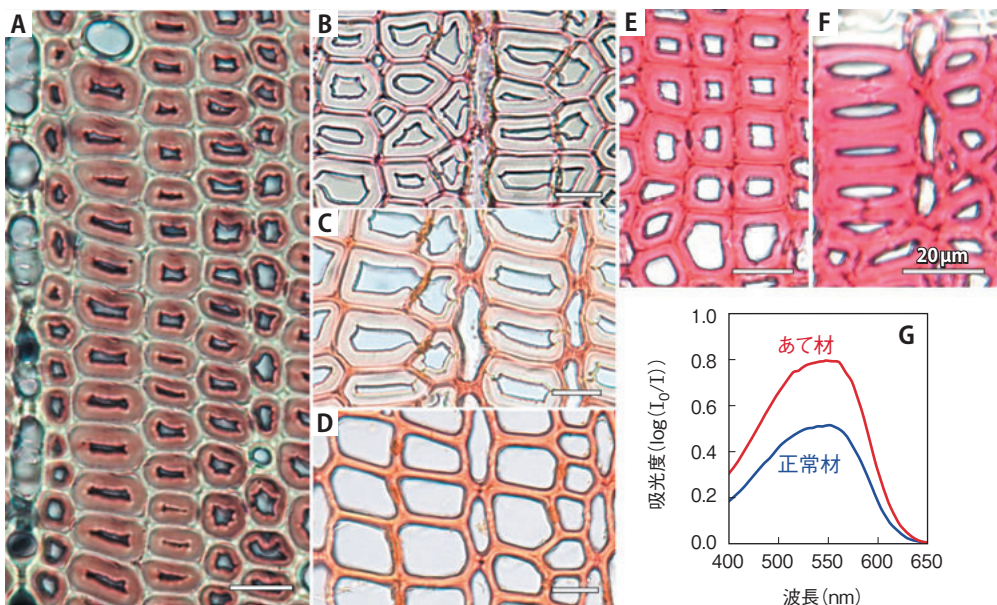


2. ユリノキ (*Liriodendron tulipifera*) のあて材の放射断面の走査電子顕微鏡写真。“G層を形成しないが傾斜上側にあて材を形成する種”においても、あて材木繊維壁では、S₂層のミクロフィブリル傾角が小さくなることに由来して、壁孔口が、細胞長軸に対して約10度以下となる(矢頭)。





1. 無道管被子植物3種(A: ヤマグルマ(*Trochodendron aralioides*), B: スイセイジュ(*Tetracentron sinense*)およびC: センリョウ(*Sarcandra glabra*))の正常材における横断面光学顕微鏡写真。木本性の被子植物では、通常、二次木部に道管が存在するが、一部の樹種では、二次木部に道管が存在せず、仮道管で構成される。



2. 無道管被子植物のあて材。ヤマグルマ(*Trochodendron aralioides*)では、傾斜した幹や枝の上側にあて材が形成される。あて材横断面を塩化亜鉛ヨウ素試薬で染色すると、G層の存在が確認できる(A)。スイセイジュ(*Tetracentron sinense*)では、リグニン呈色反応後において、傾斜上側(BおよびC)の仮道管二次壁が、オボジット側(D)のそれよりも弱い染色性を示す。センリョウ(*Sarcandra glabra*)では、あて材は、針葉樹のあて材と同様に下側に形成される。フロログルシンー塩酸反応後の横断面切片を観察すると、正常材(E)および傾斜下側(F)では、仮道管二次壁全体が赤紫色に染色されるが、吸光度を測定すると、傾斜下側でリグニン濃度が増加していると考えられる(G)。このように、同じ無道管被子植物であっても、形成されるあて材の組織構造や化学的性質は異なる。

このプレビューでは表示されないページがあります。

はじめに

あて材(reaction wood)とは何か。その組織・構造、形成、機能を中心に最新の研究成果を加え、わかりやすくまとめたのが本書である。あて材が木材に含まれると製材した場合に狂いや強度の低下などの重大な影響をもたらすので、木材利用上の大きな支障となるが、あて材の形成は樹木の成育過程では生理的に避けられないため、樹木が元来もっている欠点といえる。

あて材とは、「幹や枝を元来の正しい位置に保持しようとするために、その正しい位置が乱された場合に、傾斜あるいはわん曲した幹および枝の部分にできる多少とも特異な解剖学的性質を示す木部」と定義されている(国際木材解剖用語集 1975、木材学会誌 21(9): A16)。傾斜した幹あるいは枝の上側と下側では維管束形成層の活動に差が生じ、肥大成長に偏りが起こる。このような偏心成長が促進された部分に、あて材が形成されている。針葉樹と広葉樹とを比較すると、針葉樹のあて材は傾斜の下側に、広葉樹のあて材は傾斜の上側に形成され、あて材の現れる側が正反対ばかりでなく、その物理的・化学的性質も対照的である。

あて材の形成は、重力刺激の変化に対する樹木の応答の結果として樹木自体の自己制御によって生じる植物ホルモンの分布のバランスのくずれに起因すると考えられている。しかし、あて材の形成にとって重力の影響はむしろ間接的であって、直接的には植物ホルモンの偏りが主要な原因とされている。では、針葉樹と広葉樹であて材形成の特徴がなぜ異なるのか、あて材形成は進化した形質なのかなど、まだ不明な点も数多く残されている。

本書は7章から構成されており、序章「木材性質とあて材」では、この本を読むにあたって必要な木材の性質に関する基礎的事項を解説した。第1章「あて材の組織と構造」において、一般的なあて材と特異的なあて材について概説したのち、傾斜刺激に対する樹木の応答としての正常材からあて材の移行における組織・構造の変化について解説している。第2章では、「あて材の形成と化学成分」について、針葉樹では、セルロースミクロフィブリルとヘミセル

ロースの堆積とその分布およびリグニンの沈着とその分布、広葉樹では、ゼラチン層(G層)の形成について詳細に解説している。第3章では、「あて材形成の分子生物学」について、植物の系統進化と化学成分の特徴を分子生物学的に最新の知見を織り込んで記述している。第4章「あて材形成と成長応力」では、あて材の組織と成長応力、あて材形成に関わる遺伝子、熱帯樹木の成長応力について解説している。第5章「あて材形成と植物ホルモン」では、あて材形成に関与する各種ホルモンの生理活性及びホルモン合成阻害に触れている。最後に、第6章「あて材の材質特性」においては、木質資源の有効利用の見地から、物理・機械的性質と化学的性質について利用上の諸問題を取りまとめている。

本書は、森林科学や木材科学を学ぶ学部学生・大学院生を対象に書かれているが、植物学及び植物生理学を学ぶ学生にも十分理解できるようにわかりやすく記述されている。本書の出版にあたっては、日本木材学会・組織と材質研究会に所属する、あて材研究の最先端に位置する研究者が参画し執筆している。本書には、あて材形成による特異的ともいえる樹木の生き様、化学成分合成を理解するうえで重要な最新の知見が多く盛り込まれており、この分野に関心を持つ研究者にも有用であると確信している。

最後に、本書の出版に多大なるご支援を頂いた海青社の宮内 久氏に厚く御礼申し上げる。

2012年12月

監修者 吉澤 伸夫



在りし日の吉澤先生
(2009年3月長野県安曇野市にて)

このプレビューでは表示されないページがあります。

あて材の科学

樹木の重力応答と生存戦略

目次

目次

- ① 針葉樹圧縮あて材における巨視的および組織学的特徴
 - ② 針葉樹圧縮あて材形成によるリグニン濃度の変化と壁層構造の変化
 - ③ 広葉樹引張あて材におけるG繊維の組織学的特徴
 - ④ 広葉樹におけるG層を形成しない特異的なあて材の組織学的特徴
 - ⑤ ツゲ属(*Buxus*)における“圧縮あて材様あて材”の形成
 - ⑥ 無道管被子植物におけるあて材の特徴
 - ⑦ シンクロトロンX線回折を利用したボブラのG繊維の解析例
 - ⑧ 広葉樹引張あて材におけるG層の形成と成分分布
 - ⑨ 遺伝子組換えによる引張あて材の応力発生に寄与する糖鎖の研究
 - ⑩ あて材の発達程度と遺伝子発現量
 - ⑪ 樹木と成長応力
 - ⑫ 成長応力と製材障害
 - ⑬ 植物ホルモンとあて材形成
 - ⑭ 傾斜の反転にともなう圧縮あて材と引張あて材形成部位の変化
 - ⑮ あて材の材質特性
-

はじめに.....	(吉澤伸夫) 1
-----------	----------

序章 木材性質とあて材..... (石栗 太編集) 13

0.1 木材の形成と構造.....	(石栗 太・相蘇春菜) 13
0.1.1 針葉樹材の組織.....	19
0.1.2 広葉樹材の組織.....	21
0.1.3 師部の構造.....	26
0.2 木材の化学的性質.....	(石栗 太・相蘇春菜) 27
0.2.1 セルロース.....	28
0.2.2 ヘミセルロース.....	29
0.2.3 リグニン.....	30
0.2.4 抽出成分と無機成分.....	31
0.2.5 細胞壁における化学成分の分布.....	31
0.3 木材の物理的性質.....	(石栗 太・相蘇春菜) 35
0.3.1 水分特性.....	35
0.3.2 密 度.....	36
0.3.3 収縮・膨潤.....	36
0.3.4 力学的性質.....	39
0.4 あて材.....	(石栗 太・相蘇春菜) 41

第1章 あて材の組織と構造..... (吉澤伸夫編集) 49

1.1 圧縮あて材.....	(林 徳子) 49
1.1.1 一般的な圧縮あて材.....	(林 徳子) 50
1.1.2 特異的なあて材.....	(吉澤伸夫・平岩季子・石栗 太) 53
1.1.2.1 針葉樹.....	53
1.1.2.2 広葉樹.....	55
1.1.3 熱帯樹木のあて材.....	(野淵 正) 58
1.1.3.1 針葉樹のあて材.....	58
1.1.3.2 ダンマルジュのあて材の特徴.....	59
1.1.4 師部における組織・構造の変化.....	(吉永 新) 62

1.2 広葉樹のあて材	63
1.2.1 一般的な引張あて材	(林 徳子) 64
1.2.2 特異的なあて材	(平岩季子・相蘇春菜・吉澤伸夫・石栗 太) 67
1.2.2.1 G層を形成しないが組織・構造が弓 張あて材に類似したあて材 を形成する樹種	68
1.2.2.2 G層を形成せず、組織・構造が弓 張あて材に類似しないあて材 を形成する樹種	70
1.2.2.3 傾斜部の下側にあて材を形成する樹種	71
1.2.2.4 無道管材のあて材	74
1.2.3 熱帯樹木のあて材	(野 潤 正) 78
1.2.3.1 枝におけるあて材の形成	78
1.2.3.2 樹幹の人為的傾斜に伴うあて材の形成	79
1.2.3.3 パラゴムノキにおけるあて材形成の特徴	81
1.2.4 師部における組織・構造の変化	(吉永 新) 83
1.3 正常材とあて材との間の移行に伴う構造変化	88
1.3.1 圧縮あて材	(吉澤伸夫・平岩季子・林 徳子・船田 良) 88
1.3.1.1 新生仮道管の形成と分化・成熟時間	88
1.3.1.2 圧縮あて材仮道管の細胞壁構造変化	91
1.3.1.3 木部分化帯における仮道管の傾斜刺激に対する反応と壁構造 の変化	96
1.3.1.4 らせん肥厚を持つ樹種の木部分化帯における仮道管の傾斜刺激 に対する反応と壁構造の変化	98
1.3.2 引張あて材	(林 徳子) 105
1.3.2.1 S ₁ +S ₂ +G型における移行域の細胞壁構造	106
1.3.2.2 S ₁ +S ₂ +S ₃ +G型における移行領域の微細構造	110
1.3.2.3 S ₁ +G型における移行領域の微細構造	112
1.3.2.4 従来の3つのタイプのG繊維の出現過程の比較	115

第2章 あて材の形成と成分分布

(高部圭司編集) 125

2.1 あて材の化学成分	125
2.1.1 あて材の化学成分量	(石栗 太・横田信三) 125

2.1.2	セルロース	(杉山淳司) 127
2.1.2.1	一般的な特徴	127
2.1.2.2	G層のミクロフィブリル	128
2.1.2.3	結晶構造	128
2.1.3	ヘミセルロース	(高部圭司・吉永 新) 131
2.1.3.1	圧縮あて材	131
2.1.3.2	引張あて材	134
2.1.4	リグニン	(福島和彦・吉永 新) 138
2.1.4.1	圧縮あて材のリグニン(裸子植物)	138
2.1.4.2	引張あて材のリグニン(被子植物)	140
2.1.4.3	傾斜下側に偏心成長する広葉樹におけるリグニン分布と 沈着過程	144
2.1.5	抽出成分	(梅澤俊明) 145
2.2	圧縮あて材の形成と成分分布	(高部圭司) 148
2.2.1	細胞壁の形成過程	148
2.2.2	ヘミセルロースの堆積と分布	157
2.2.3	リグニンの沈着と分布	162
2.2.3.1	リグニンの沈着過程	162
2.2.3.2	木化のメカニズム	164
2.2.3.3	リグニンの分布	165
2.3	引張あて材の形成と成分分布	(吉永 新) 166
2.3.1	G層を形成する広葉樹	166
2.3.1.1	木化する壁層の成分分布	166
2.3.1.2	G層の成分分布	169
2.3.1.3	細胞壁の形成過程	178
2.3.2	G層を形成しない広葉樹の傾斜上側に偏心成長する場合	180
第3章	あて材形成の分子生物学	(横田信三編集) 193
3.1	植物の進化と化学成分	(横田信三) 193
3.1.1	セルロースの進化	193
3.1.2	ヘミセルロースの進化	193

3.1.3 リグニンの進化.....	198
3.2 あて材細胞分化の分子生物学.....	202
3.2.1 マイクロアレイとプロテオミクス..... (林 隆久)	202
3.2.1.1 セルロースの生合成.....	203
3.2.1.2 キシログルカンの生合成.....	206
3.2.1.3 キシログルカンエンドトランスグルコシラーゼ(XET)による セルロースの架橋.....	207
3.2.1.4 キシランの生合成とリグニンの生合成.....	208
3.2.1.5 セルラーゼ.....	208
3.2.1.6 アラビノガラクトタンブロテイン.....	209
3.2.2 遺伝子組換え体を用いた引張あて材における糖鎖の機能解析 (馬場啓一)	209
第4章 あて材形成と成長応力..... (山本浩之編集)	217
4.1 成長応力と残留応力..... (山本浩之)	217
4.1.1 成長応力(残留応力)に起因する諸問題.....	217
4.1.2 成長応力とは.....	219
4.1.2.1 応力とひずみ.....	219
4.1.2.2 弾性法則と弾性係数.....	220
4.1.2.3 残留応力と残留応力解放ひずみ.....	222
4.1.2.4 表面成長応力.....	222
4.1.3 成長応力の測定方法.....	223
4.1.3.1 ひずみゲージ法.....	223
4.1.3.2 実測例.....	226
4.2 圧縮あて材と成長応力..... (佐藤彩織・吉田正人)	227
4.2.1 圧縮あて材の組織的特徴と成長応力.....	227
4.2.2 圧縮あて材の発達程度と遺伝子発現量の対応.....	232
4.3 引張あて材と成長応力..... (山本浩之)	235
4.3.1 広葉樹の系統分類とあて材の多様性.....	235
4.3.2 引張あて材部の成長応力.....	237
4.3.2.1 G繊維を形成する樹種.....	237

4.3.2.2	モクレン科の樹種	240
4.3.2.3	“原始的な”真正双子葉類	242
4.4	あて材形成による樹形のコントロール	(吉田正人) 243
4.4.1	重力環境と高等植物の成長	243
4.4.1.1	一次成長と二次成長	243
4.4.1.2	植物の成長と屈性	244
4.4.1.3	植物の茎が負の重力屈性を発現する仕組み	244
4.4.2	あて材の形成と成長応力による樹形のコントロール	246
4.4.2.1	樹幹における傾斜の回復の力学	246
4.4.2.2	枝における形状パターンの制御	247
4.4.2.3	樹形制御に関するトピックス	250
4.5	植林早生樹木の成長応力	(児嶋美穂・山本浩之) 253
4.5.1	早生樹植林とその意義	253
4.5.2	早生樹の成長応力	255
4.5.2.1	肥大成長が成長応力に及ぼす影響	255
4.5.2.2	同属内での種による違い—— <i>Acacia</i> 属、 <i>Eucalyptus</i> 属を例 として	258
4.5.2.3	同一種内での植林地による違い ——ユーカリ (<i>Eucalyptus grandis</i>) を例として	259
4.5.2.4	樹齢による解放ひずみの違い	259

第5章 あて材形成と植物ホルモン

(船田 良編集) 267

5.1	植物ホルモンと木部形成	(船田 良) 267
5.2	オーキシン	(船田 良・山本福壽) 276
5.2.1	針葉樹の圧縮あて材	276
5.2.2	広葉樹の引張あて材	281
5.3	ジベレリン	(馬場啓一) 284
5.4	エチレン	(山本福壽) 289
5.4.1	針葉樹の圧縮あて材	292
5.4.2	広葉樹の引張あて材	295

第6章 あて材の材質特性.....	(石栗 太編集) 309
6.1 物理的性質.....	(松村順司) 309
6.1.1 圧縮あて材.....	309
6.1.1.1 材の密度.....	309
6.1.1.2 収縮率.....	310
6.1.1.3 透過性.....	313
6.1.2 引張あて材.....	313
6.1.2.1 材の密度.....	313
6.1.2.2 収縮率.....	314
6.1.2.3 透過性.....	315
6.2 あて材の力学的性質.....	(石栗 太) 315
6.2.1 圧縮あて材.....	317
6.2.2 引張あて材.....	319
6.3 あて材の加工上の問題点.....	(石栗 太・飯塚和也) 323
6.4 化学的利用上の問題点.....	(岡山隆之) 325
6.4.1 木材の化学的利用.....	325
6.4.2 圧縮あて材.....	330
6.4.3 引張あて材.....	331
索引.....	337
あとがき.....	(石栗 太) 350

 コ ラ ム

あて材観察時の染色法.....	47
広葉樹あて材の分類.....	124
裸子植物グネモンノキの傾斜樹幹にできる“あて材”は“圧縮あて材”か？.....	265
あて材形成による材密度の変化.....	336

このプレビューでは表示されないページがあります。

序章 木材性質とあて材

0.1 木材の形成と構造

我々が、“木材(wood)”として利用する樹木(tree)は、そのほとんどが、裸子植物(gymnosperm)の針葉樹類(needleleaves)と被子植物(angiosperm)の双子葉類(dicotyledon)として分類されている(図0-1-1)。裸子植物の針葉樹類の樹木から得られる材を針葉樹材(softwood)と呼び、被子植物の双子葉類の樹木から得られる材を広葉樹材(hardwood)と呼んでいる。針葉樹材と広葉樹材では、組織・構造が大きく異なる。また、裸子植物のイチョウ類(*Ginkgo*)のイチョウ(*Ginkgo biloba*)は、便宜的に針葉樹材に含む場合が

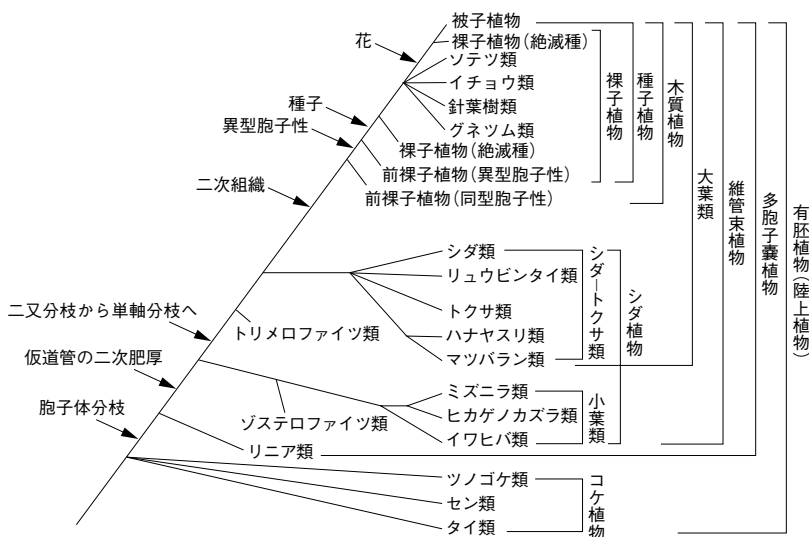


図0-1-1 有胚植物の概略系統樹(長谷部 2007)

絶滅した植物の枝は現生種よりも短くしてある。代表的な派生形質が示してある。

このプレビューでは表示されないページがあります。

第1章 あて材の組織と構造

1.1 圧縮あて材

我が国では、「あて(陽疾または檔)」とは、もともと、樵夫、木工業者などが用いた俗語であったとされる(尾中 1935, 1949)。民俗学者として有名な柳田國男は、「アテは向こう側、裏側、..... 樹にあつては成長の悪かった部分の事で、従って職人は今でも広く『悪い』の意味に用いており.....」と記し(柳田 1932)、古くから生活に密着した言葉であることを伝えている。一方、尾中(1949)は、その総説において、「アテは樹木の肥大成長が一側的に偏る、所謂偏心成長に際し、成長の偏る側に生ずる異常の材である。この材は種々の点で正常の材と異なる性質を有し、木材不均一の原因をなすから、利用上重大な欠点の一に数えられている。」と述べている。現在では、国際木材解剖学者連合(International Association of Wood Anatomists, IAWA)用語委員会(1975)によって、あて材(reaction wood)は「幹や枝を元来の正しい位置に保持しようとするために、その正しい位置が乱された場合に、傾斜あるいは彎曲した幹および枝の部分にできる特異な解剖学的性質を示す木部」と定義されている。

針葉樹の場合、幹や枝の下側に偏心成長して濃暗色の材が形成される(Timell 1986)。横断面では、この濃色の部分がアーク状に観察される(図 1-1-1)。1800 年代



図 1-1-1 傾斜した幹の下側に形成されたイチイ(*Taxus cuspidata*)の圧縮あて材(CW)

このプレビューでは表示されないページがあります。

第2章 あて材の形成と成分分布

2.1 あて材の化学成分

2.1.1 あて材の化学成分量

一般に、あて材は、正常材と比較した場合、セルロースやリグニンの含有率において大きな違いが認められることが多い(Côté & Day 1965; Panshin & de Zeeuw 1980; Timell 1986; Baba *et al.* 1996)。

針葉樹材においては、圧縮あて材と正常材を比較した場合、圧縮あて材において、セルロース含有率の減少とリグニン含有率の増加が認められている(Côté & Day 1965; Panshin & de Zeeuw 1980; Timell 1983, 1986) (表2-1-1)。これは、圧縮あて材の形成に伴って、針葉樹仮道管の細胞壁の肥厚とリグニンに富むS₂(L)層が形成されることと深く関連する(1章参照)。

広葉樹材においては、引張あて材と正常材を比較すると、針葉樹材とは反対に、セルロース含有率の増加とリグニン含有率の減少が認められる(Côté & Day 1965; Timell 1969; Du & Yamamoto 2007) (表2-1-2)。このセルロース含有率の増加とリグニン含有率の減少は、多くの広葉樹あて材において認められるG層がほぼセルロースから構成されていることと深く関連している(1章および2.3.1参照)。また、引張あて材形成において、木繊維最内層にG層をつくらない樹種である、ホオノキ(*Magnolia obovata*)、ユリノキ(*Liriodendron tulipifera*)、キンモクセイ(*Osmanthus fragrans* var. *aurantiacus*)などでは、G層を形成する樹種と同様に、木繊維二次壁のリグニン量の減少が認められている(Okuyama *et al.* 1994; Yoshizawa *et al.* 2000; Yoshida *et al.* 2002b; Hiraiwa *et al.* 2007)。一方、広葉樹において、圧縮あて材に類似したあて材を形成するチョウセンヒメツゲ(*Buxus microphylla* var. *insularis*)では、あて材形成に伴って木繊維壁においてS₂(L)層が形成されるとともに、細胞間層および道管

このプレビューでは表示されないページがあります。

第3章 あて材形成の分子生物学

3.1 植物の進化と化学成分

3.1.1 セルロースの進化

セルロース合成酵素 (cellulose synthase; CesA, GT2 ファミリー) は、真核生物 (Eukaryotes) と原核生物 (Prokaryotes) に広く分布しているが (図 3-1-1)、セルロース合成は陸生植物の祖先的な真核生物経路ではない。分子生物学的研究により、植物はセルロース合成酵素をシアノバクテリアから獲得したことが示されている (Nobels & Brown 2004)。最近、特性が解明された紅藻 (*Porphyra yezoensis*) のセルロース合成酵素の塩基配列は、シアノバクテリア CesA と同じクラスターを形成しており (Roberts & Roberts 2009)、セルロース合成酵素が、アーケプラスチダ巨大系統群 (Archaeplastida super group) の基部において一次細胞内生共生の間に獲得されたことを確証している。CesA の系統樹において、卵菌類 (oomycetes) と褐藻のセルロース合成酵素は、シアノバクテリアと紅藻のそれらの配列と近いクラスターを形成し、ストラメノピラ類 (stramenopiles) が紅藻類からセルロースを生産する能力を獲得したことを示唆している (Michel *et al.* 2010b)。分子生物学的研究結果は、褐藻、紅藻、緑藻、車軸藻緑藻および陸生植物間で見られるセルロース合成酵素・ターミナルコンプレックスの構造的相違と一致している (Tsekos 1999)。セルロース合成酵素は、褐藻からの分岐後、珪藻類によって失われたと思われる (図 3-1-1)。

3.1.2 ヘミセルロースの進化

多くの陸生植物の細胞壁成分は、CesA からセルロース合成酵素様 (Csl) 遺伝子ファミリーへの多様化によって生じた遺伝子によって合成される (図 3-1-1) (Lerouxel *et al.* 2006; Yin *et al.* 2009)。7 から 8 個の Csl 遺伝子が種子植物に

このプレビューでは表示されないページがあります。

第4章 あて材形成と成長応力

4.1 成長応力と残留応力

4.1.1 成長応力(残留応力)に起因する諸問題

木材は、建築物や家具などの構造部材や紙の原料として重要な生物資源である。木材を加工する場合、まず立木の樹幹を伐採し、その後適当な長さの丸太へと切断する(玉切り)。続いて板や柱などの製材品に挽き分ける。伐採や玉切りの工程で丸太の切断面には心割れや心裂けが生じ、製材の工程で板材や柱材は反ったり曲がったりする(4.5の図4-5-1および6.3を参照)。これらの加工障害から、樹幹の二次木部内にはある種の力学的な緊張状態(残留応力)が生じているのが分かる。これは、樹幹内残留応力(residual stress inside trunk)と呼ばれている。

では、どのようなメカニズムによって樹幹内に残留応力が発生するのだろうか。このことを理解するために、樹幹(二次木部)を図4-1-1のようにモデル化する。表面の薄層は、若い二次木部細胞からなる層(新生木部)であり、これが成熟して完成木部の一部となったのち、その外側に新たな新生木部の層が生じる。この過程を繰り返すことによって木部は肥大成長(二次成長)していく。まず、一回の二次成長の過程(新生木部の薄層が生じ、これが成熟する過程)を考えてみる。鉛直に生育する樹幹では、新生木部は成熟の過程で繊維軸に沿う方向に収縮し、接線方

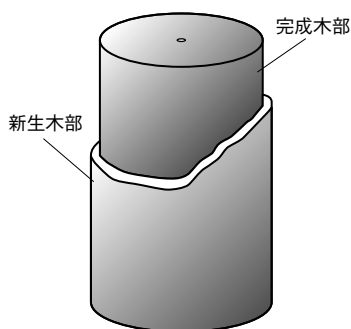


図4-1-1 樹幹二次木部の2層複合円筒近似

このプレビューでは表示されないページがあります。

第5章 あて材形成と植物ホルモン

5.1 植物ホルモンと木部形成

樹木は、伸長成長と肥大成長により樹体の大きさを増加させる。肥大成長は、二次分裂組織である形成層の並層分裂(樹幹の表面に対し平行面での分裂)により行われ、樹幹が半径方向に太ることである(Catesson 1990; Larson 1994; Chaffey 1999; Funada 2000, 2008; 船田 2011a, b)。形成層は、樹皮のすぐ内側に存在し、横断面で見た時、樹幹や根の木部を環状に包囲しており、概念的には分裂能力の高い1層の細胞(形成層始原細胞)の集合体である(図5-1-1)。形成層始原細胞は、並層分裂により木部母細胞と師部母細胞を形成する。形成層始原細胞と同様な分裂能力をもつ母細胞を、形態や細胞学的な違いで形成層始原細胞と区別することはできない。したがって、形成層始原細胞、木部母細胞、師部母細胞を一括して形成層帯と呼ぶことが多い。形成層という用語が形成層始原細胞のみを指すのか、形成層帯の細胞全体を指すのかは、意見が依然分かれている(船田 2011b)。形成層は並層分裂により内側に二次木部(以下、木部と略する)の細胞を生産しながら形成層自体は外側に押し出され、形成層の外側には二次師部(以下、師部と略する)の細胞を生産する。また形成層は、垂層分裂(樹幹の表面に対し垂直な面での分裂)を行い形成層細胞の数を増加させ、形成層自体の円周を拡大する。形成層から派生した新生細胞は、分裂能力を失うと同時に伸長や拡大し始め、根から葉までの水分の通道、重い樹幹の力学的な支持、長期間にわたる養分の貯蔵や供給などの機能を担っている木部と、葉で作られた光合成同化産物の転流や養分の貯蔵を行っている師部を形成する。

日本のような温帯や冷温帯に生育する樹木には、形成層細胞の分裂活動に季節性が認められ、活動期と休止期という周期性が存在する。気温や日照時間などの樹木が生育する場所の環境要因の違いが、形成層活動の周期性を引き起こ

このプレビューでは表示されないページがあります。

第6章 あて材の材質特性

6.1 物理的性質

木材は生物材料であるが故に、その物理的性質は木材の組織・構造に大きな影響を受ける(序章参照)。正常材とあて材の物理的性質の違いは、そのほとんどが組織・構造の違いに起因する(1章参照)。本節では、あて材の物理的性質とその組織・構造との関係について述べる。

6.1.1 圧縮あて材

圧縮あて材の物理的性質に大きく関与する組織・構造因子として、仮道管の形態変化および化学成分量変化、 S_2 層マイクロフィブリル傾角の変化が挙げられる。圧縮あて材の仮道管二次壁に S_3 層を欠くが、二次壁全体では正常材と比べて厚い(1.1.1参照)。これにより、材の密度は大きくなる。また、圧縮あて材では、正常材と比べてリグニン濃度が高く、セルロースの割合が減少する(2章参照)。さらに、仮道管 S_2 層マイクロフィブリル傾角が約 45° になり、正常材と比べて非常に大きい(吉澤 1994、1.1.1参照)。このことは、正常材で無視できるほど小さい繊維方向収縮率を大きくする。この繊維方向収縮率の増加が乾燥による材の反りや狂い、割れの原因となる。

このように、あて材を含む製材品などでは、材質が不均一になり、特に、構造用材として用いるときには、あて材の存在に注意を払う必要がある(平川 2001)。

6.1.1.1 材の密度

木材の密度は、細胞壁の量的指標であり、最も基本的な物理的性質であるとともに、種々の木材物性に大きく関与する因子である(0.3.2参照)。一般に、密度が大きいということは、単位体積当たりの木材実質量が多いため、強さや

このプレビューでは表示されないページがあります。

索引

科 名

Adoxaceae(レンブクソウ科)／70
 Amborellaceae(アンボレラ科)／74
 Anacardiaceae(ウルシ科)／87
 Araucariaceae(ナンヨウスギ科)／54
 Buxaceae(ツゲ科)／71
 Chloranthaceae(センリョウ科)／74
 Cupressaceae(ヒノキ科)／21
 Fabaceae(マメ科)／78, 87
 Magnoliaceae(モクレン科)／44, 68, 236, 240
 Malvaceae(アオイ科)／70
 Meliaceae(センダン科)／87
 Oleaceae(モクセイ科)／69
 Pinaceae(マツ科)／54
 Plantaginaceae(オオバコ科)／73
 Rubiaceae(アカネ科)／73
 Scrophulariaceae(ゴマノハグサ科)／70
 Taxaceae(イチイ科)／54
 Tetracentraceae(スイセイシジュ科)／74
 Trochodendraceae(ヤマグルマ科)／74
 Winteraceae(シキミモドキ科)／74

樹 種 名

Abies(マツ科/モミ属)／21, 28, 35, 37, 38, 40, 62, 126, 131, 146, 150, 152, 156, 162, 249, 250, 268, 273, 288, 291, 310, 316, 317
A. alba(ヨーロッパモミ)／126
A. balsamea(バルサムモミ)／62, 131, 288, 291, 310
A. concolor(コロラドモミ)／316
A. firma(モミ)／28, 35, 37, 38, 40
A. sachalinensis(トドマツ)／146, 150, 152, 156, 162, 249, 250, 268, 273, 317
Acacia(マメ科/アカシア属)／79, 84, 146, 253, 255, 258, 259, 284, 336

A. acuminata／84
A. auriculiformis／255, 258, 336
A. mangium／79, 253, 255, 258, 259, 284
A. mangium × *A. auriculiformis*／258
Acer(ムクロジ科/カエデ属)／28, 37, 38, 40, 88, 136, 177, 237, 281, 295, 297, 311, 314, 315, 316, 319
A. crataegifolium(ウリカエデ)／311, 314, 319
A. mono → *A. pictum*
A. pensylvanicum／136
A. pictum(イタヤカエデ)／28, 37, 38, 40
A. platanoides(ノルウェーカエデ)／295, 297
A. rubrum(アメリカハナノキ)／136, 237, 281
A. rufinerve(ウリハダカエデ)／88
A. saccharinum(ギンヨウカエデ)／311, 315
A. saccharum(サトウカエデ)／136, 316
Aesculus(トチノキ科/トチノキ属)／66, 268, 281, 287, 295, 296
A. hippocastanum(マロニエ)／268, 281
A. turbinata(トチノキ)／66, 287, 295, 296
Agathis(ナンヨウスギ科/ナンヨウスギ属)／59, 60, 61, 254, 256, 311
A. bornensis／311
A. dammara(ダンマルジュ)／59, 60, 256
A. robusta／61
Albizia(マメ科/ネムノキ属)／86
Alnus pendula(カバノキ科/ハンノキ属/ヒメヤシャブシ)／66, 112, 114, 115, 116
Amygdalus persica(バラ科/モモ属/モモ)／295
Aphananthe aspera(アサ科/ムクノキ属/ムクノキ)／66
Araucaria(ナンヨウスギ科/ナンヨウスギ属)／54, 56, 58, 59, 103
A. angustifolia(パラナマツ)／54, 56
A. araucana(チリマツ)／54, 56

- A. cunninghamii* (ナンヨウスギ) / 59
Betula (カバノキ科 / カバノキ属) / 22, 23, 28, 33, 35, 37, 38, 40, 135, 136, 295
B. alleghaniensis (キハダカンバ) / 136
B. maximowicziana (ウダイカンバ) / 28, 37, 38, 40
B. papyrifera (アメリカシラカンバ) / 33, 136
B. pendula (オウシュウシラカンバ) / 295
B. platyphylla var. *japonica* (シラカンバ) / 22, 23, 35
B. pubescens / 135, 295
B. verrucosa / 135
Broussonetia × *kazinoki* (クワ科 / コウゾ属 / コウゾ) / 26
Buxus (ツゲ科 / ツゲ属) / 44, 55, 71, 72, 73, 125, 143, 144, 242
B. microphylla var. *insularis* (チョウセンヒメツゲ) / 44, 71, 72, 73, 125, 143, 144
B. sempervirens (セイヨウツゲ) / 144
Carpinus tschonoskii (カバノキ科 / シデ属 / イヌシデ) / 256
Carya sp. (クルミ科 / ペカン属) / 86
Casearia javitensis (ヤナギ科 / イヌカンコ属) / 79, 176
Castanea crenata (ブナ科 / クリ属 / クリ) / 66, 311, 314, 319, 320
Casuarina (モクマオウ科 / モクマオウ属) / 78
Cedrus (マツ科 / ヒマラヤスギ属) / 21
Celtis (アサ科 / エノキ属) / 66, 86, 110, 111, 116, 168, 171, 174
C. occidentalis (アメリカエノキ) / 168, 171, 174
C. sinensis (エノキ) / 66, 110, 111, 116
Cephalotaxus (イチイ科 / イヌガヤ属) / 20, 54
Cerasus (バラ科 / サクラ属) / 88, 232, 256, 282, 285, 311, 314, 320
C. jamasakura (ヤマザクラ) / 88, 256, 311, 314, 320
C. spachiana (エドヒガン) / 232, 247, 282, 285, 286
Cercidiphyllum japonicum (カツラ科 / カツラ属 / カツラ) / 28, 35, 37, 38, 40, 66, 88, 112, 113, 115
Chamaecyparis obtusa (ヒノキ科 / ヒノキ属 / ヒノキ) / 28, 35, 37, 38, 40, 62, 154, 228, 233, 234, 235, 253, 311
Choerospondias axillaris (ウルシ科 / チャンチンモドキ属 / チャンチンモドキ) / 25
Clerodendrum trichotomum (シソ科 / クサギ属 / クサギ) / 66, 70
Corchorus capsularis (アオイ科 / ツナソ属 / ツナソ) / 84
Cornus controversa (ミズキ科 / サンシュユ属 (ミズキ属) / ミズキ) / 66, 112, 114, 116, 311, 319, 320
Cryptomeria japonica (ヒノキ科 / スギ属 / スギ) / 28, 32, 35, 37, 38, 40, 62, 89, 131, 153, 154, 155, 159, 161, 163, 229, 230, 231, 253, 256, 273, 274, 278, 279, 311, 324
Cupressus arizonica (ヒノキ科 / イトスギ属) / 287
Cyclobalanopsis acuta → *Quercus acuta*
Daphne odora (ジンチョウゲ科 / ジンチョウゲ属 / ジンチョウゲ) / 66, 70
Dendropanax trifidus (ウコギ科 / カクレミノ属 / カクレミノ) / 25
Dryobalanops aromatica (フタバガキ科 / リュウノウジュ属 / リュウノウジュ) / 79, 251
Edgeworthia chrysantha (ジンチョウゲ科 / ミツマタ属 / ミツマタ) / 26
Enkianthus subsessilis (ツツジ科 / ドウダンツツジ属 / アブラツツジ) / 25, 66, 70
Eucalyptus (フトモモ科 / ユーカリノキ属) / 84, 87, 126, 134, 135, 137, 167, 178, 180, 205, 255, 258, 260, 295
E. camaldulensis / 135, 167
E. dunnii / 260
E. globulus / 137, 178, 255, 258
E. gomphocephala / 295
E. goniocalyx / 126, 134, 135
E. grandis / 205, 255, 258, 259
E. gunnii / 87
E. nitens / 180
Euonymus alatus (ニシキギ科 / ニシキギ属 / ニシキギ) / 66, 70
Euscaphis japonica (ミツバウツギ科 / ゴンズイ属 / ゴンズイ) / 66, 70
Fagus (ブナ科 / ブナ属) / 28, 35, 37, 38, 40, 66, 126, 135, 136, 167, 177, 315

- F. crenata* (ブナ) / 28, 35, 37, 38, 40, 66, 136
F. grandifolia (アメリカブナ) / 135, 136, 167
F. sylvatica (ヨーロッパブナ) / 126, 135, 177, 315
Falcata *moluccana* (マメ科/モルッカネム属/モルッカネム) / 255, 259, 336
Ficus (クワ科/イチジク属) / 78
Fraxinus (モクセイ科/トネリコ属) / 28, 35, 37, 38, 40, 66, 167, 176, 268, 283, 286, 311, 314, 319, 320, 321
F. excelsior (セイヨウトネリコ) / 268
F. japonica (トネリコ) / 66
F. mandshurica (ヤチダモ) / 28, 35, 37, 38, 40, 167, 176, 283, 286, 314, 320, 321
F. mandshurica var. *japonica* → *F. mandshurica*
F. sieboldiana (マルバアオダモ) / 311, 319, 320
Gardenia jasminoides (アカネ科/クチナシ属/クチナシ) / 34, 44, 56, 74, 124, 126, 145
Ginkgo (イチョウ科/イチョウ属) / 13, 53, 54, 55, 103, 140, 277
G. biloba (イチョウ) / 13, 53, 54, 55, 140, 277
Gmelina arborea (シソ科/キバナヨウラク属/キダチヨウラク) / 255, 259
Gnetum gnetum (グネツム科/グネツム属/グネモンノキ) / 265
Guaiacum spp. (ハマビシ科/ユソウボク) / 36
Hebe salicifolia (オオバコ科) / 56, 73, 74
Hevea brasiliensis (トウダイグサ科/バラゴムノキ属/バラゴムノキ) / 80, 81, 82
Homalium foetidum (ヤナギ科/タカサゴノキ属) / 177
Hopea odorata (フタバガキ科) / 78, 79, 80
Ilex (モチノキ科/モチノキ属) / 66, 70, 256
I. crenata (イヌツゲ) / 70
I. crenata var. *crenata* (イヌツゲ) / 66
I. macropoda (アオハダ) / 66, 70
I. pedunculosa (ソヨゴ) / 256
Juglans (クルミ科/クルミ属) / 86
Juniperus chinensis (ヒノキ科/ネズミサシ属/カイヅカイブキ) / 249, 250
Kalopanax (ウコギ科/ハリギリ属) / 286
K. pictus → *K. septemlobus*
K. septemlobus (ハリギリ) / 286
Keteleeria (マツ科/アブラスギ属) / 21
Laetia procera (ヤナギ科) / 177
Lagunaria patersonii (アオイ科/ラグナリア) / 84
Larix (マツ科/カラマツ属) / 17, 18, 21, 28, 35, 37, 38, 40, 62, 89, 126, 131, 133, 145, 279
L. decidua (オウシュウカラマツ) / 126, 131
L. kaempferi (カラマツ) / 17, 18, 28, 35, 37, 38, 40, 145, 279
L. laricina (アメリカカラマツ) / 62, 89, 133
L. leptolepis → *L. kaempferi*
Leucaena leucocephala (マメ科/ギンゴウカン属/ギンゴウカン) / 137
Liquidambar styraciflua (フウ科/フウ属/モミジバフウ) / 128, 168, 171, 174
Liriodendron tulipifera (モクレン科/ユリノキ属/ユリノキ) / 44, 66, 68, 125, 142, 180, 232, 240, 241, 282, 322
Maackia (マメ科/イヌエンジュ属) / 297
M. amurensis (イヌエンジュ) / 297
M. floribunda → *M. amurensis*
Magnolia (モクレン科/モクレン属) / 28, 35, 37, 38, 40, 44, 66, 68, 125, 180, 240, 248, 249, 256, 322
M. kobus (コブシ) / 66, 68, 180, 248, 249, 256
M. obovata (ホオノキ) / 28, 35, 37, 38, 40, 44, 66, 68, 125, 180, 240, 256, 322
Mallotus japonicus (トウダイグサ科/アカメガシワ属/アカメガシワ) / 87, 88
Malus domestica (バラ科/リンゴ属/セイヨウリンゴ) / 295
Melaleuca spp. (フトモモ科/コバノブラシノキ属) / 253
Melia azedarach (センダン科/センダン属/センダン) / 87, 88
Metasequoia glyptostroboides (ヒノキ科/メタセコイア属/メタセコイア) / 280, 292, 293, 295
Morus (クワ科/クワ属) / 86
Ochroma lagopus (アオイ科/バルサ属/バル

- サ)／36
Ocotea rubra (クスノキ科)／175
Osmanthus fragrans var. *aurantiacus* (モクセイ科／モクセイ属／キンモクセイ)／66, 69, 125, 180, 322
Paraserianthes falcataria → *Falcataria moluccana*
Paulownia tomentosa (ゴマノハグサ科／キリ属／キリ)／70
Picea (マツ科／トウヒ属)／19, 20, 21, 28, 35, 37, 38, 40, 50, 62, 63, 89, 126, 131, 203, 232, 278, 311, 313, 316, 318, 319, 330
P. abies (ドイツトウヒ)／50, 63, 89, 126, 131, 278, 313, 318, 319
P. excelsa／278
P. glauca／232, 316
P. jezoensis (エゾマツ)／19, 20, 28, 35, 37, 38, 40
P. mariana／62
P. rubens／62
P. sitchensis (シトカトウヒ)／203, 311, 330
Pinus (マツ科／マツ属)／19, 21, 28, 35, 37, 38, 40, 50, 59, 62, 89, 126, 131, 139, 141, 151, 163, 203, 243, 253, 256, 277, 278, 280, 291, 293, 294, 295, 296, 310, 311, 312, 316, 317
P. banksiana (バンクスマツ)／89
P. caribaea／59, 253
P. contorta (コントロールタマツ)／291, 294
P. densiflora (アカマツ)／19, 28, 35, 37, 38, 40, 126, 256, 277, 295, 311
P. elliotii／253
P. halepensis／277, 291
P. jefferyi／312
P. longaeva／243
P. merkusii／253
P. nigra／126
P. pinaster (カイガンショウ)／139, 203, 291
P. ponderosa (ボンデローサマツ)／311, 316, 317
P. radiata (ラジアータマツ)／253
P. resinosa／89, 277, 316
P. strobus／131
P. sylvestris (ヨーロッパアカマツ)／50, 62, 131, 151, 278, 279, 280, 293, 296, 310
P. taeda (テードマツ)／126, 253
P. thunbergii (クロマツ)／62, 89, 139, 141, 163, 277, 317
P. orientalis (コノテガシワ)／59
Podocarpus (マキ科／イヌマキ属)／59, 311
P. fasciculatus (リュウキュウイヌマキ)／59
P. imbricatus／311
P. macrophyllus (カクバマキ)／59
Populus (ヤナギ科／ヤマナラシ属)／35, 64, 85, 107, 126, 129, 130, 134, 135, 136, 137, 143, 164, 168, 169, 170, 171, 172, 174, 177, 178, 179, 206, 208, 253, 268, 269, 270, 273, 274, 275, 281, 282, 284, 286, 288, 295, 314, 316, 320, 321, 331
P. "Tristis No. 1"／331
P. alba／64, 130, 208
P. canadensis／134
P. charkowiensis × *P. caudina*／143
P. cv. I4551／320
P. deltoides／169, 316
P. deltoides × *P. nigra*／179
P. deltoides × *P. trichocarpa*／169, 177, 178
P. euramericana／84, 85, 106, 109, 110, 128, 139, 169, 170, 179, 253, 314
P. kitakamiensis／164
P. maximowiczii → *P. suaveolens*
P. monilifera／281
P. nigra／177, 253
P. nigra × *P. deltoides*／177
P. regenerata／316
P. sieboldii → *P. tremula* var. *sieboldii*
P. sieboldii × *P. grandidentata*／268, 273, 274
P. suaveolens (ドロノキ)／35, 129, 169
P. tremula／168, 169, 281, 295
P. tremula var. *sieboldii* (ヤマナラシ)／286, 314, 320, 321
P. tremula × *P. alba*／137, 168, 169, 170, 171
P. tremula × *P. tremuloides*／85, 171, 172, 206, 269, 270, 275, 282, 284, 288
P. tremuloides／126, 135, 136, 178
P. trichocarpa × *P. koreana*／174

- Prosopis juliflora* (マメ科) / 86
Prunus (バラ科 / スモモ属) / 88, 136, 232, 247, 248, 249, 282, 285, 295
P. jamasakura → *Cerasus jamasakura*
P. pensylvanica / 136
P. persica → *Amygdalus persica*
P. spachiana f. *ascendens* → *Cerasus spachiana*
Pseudotsuga (マツ科 / トガサワラ属) / 20, 21, 28, 37, 38, 54, 57, 100, 102, 103, 280, 310, 316
P. japonica (トガサワラ) / 28, 37, 38, 57, 100, 102, 103
P. menziesii (バイマツ) / 280, 310, 316
Pseudowintera colorata (シキミモドキ科) / 55, 74, 76
Pterocarya (クルミ科 / サワグルミ属) / 86
Pyrus malus (バラ科 / ナシ属) / 295
Quercus (ブナ科 / コナラ属) / 24, 28, 35, 37, 38, 40, 66, 86, 175, 237, 239, 256, 273, 286
Q. acuta (アカガシ) / 28, 37, 38, 40
Q. acutissima (クヌギ) / 239
Q. alba (ホワイトオーク) / 86
Q. crispula (ミズナラ) / 35, 256, 286
Q. falcata var. *falcata* / 86
Q. mongolica var. *grosseserrata* → *Q. crispula*
Q. myrsinifolia (シラカシ) / 24
Q. robur (オウシュウナラ) / 177
Q. rubra / 175, 237
Q. serrata (コナラ) / 66, 256, 273
Rhododendron wadanum (ツツジ科 / ツツジ属 / トウゴクミツバツツジ) / 66, 70
Rhus typhina (ウルシ科 / ヌルデ属) / 87
Ricinus communis (トウダイグサ科 / トウゴマ属 / トウゴマ) / 84
Robinia pseudoacacia (マメ科 / ハリエンジュ属 / ハリエンジュ) / 66, 67, 106, 107, 108, 116, 136, 168, 176, 236, 237, 240
Salix (ヤナギ科 / ヤナギ属) / 85, 167
S. gordejecii / 167
S. koriyanagi (コリヤナギ) / 85
Sarcandra glabra (センリョウ科 / センリョウ属 / センリョウ) / 44, 74, 75
Schefflera heptaphylla (ウコギ科 / フカノキ属 / フカノキ) / 25
Sequoia (ヒノキ科 / セコイア属) / 50, 311, 316
Sequoia gigantea / 316
Sequoia sempervirens (セコイア) / 311, 316
Sequoiadendron (ヒノキ科) / 243
S. giganteum (セコイアオスギ) / 243
S. sempervirens / 243
Shorea leprosula (フタバガキ科 / サラソウジュ属) / 80, 81
Simarouba amara (ニガキ科 / シマルバ属) / 322
Swietenia spp. (センダン科 / マホガニー属 / マホガニー) / 254
Taxus (イチイ科 / イチイ属) / 20, 49, 54, 57, 89, 90, 96, 99, 100, 101, 103
T. cuspidata (イチイ) / 49, 57, 89, 90, 96, 99, 100, 101, 103
Tectona grandis (シソ科 / チークノキ属 / チーク) / 79, 254, 256, 258, 260
Tetracentron sinense (スイセイジュ科 / スイセイジュ属 / スイセイジュ) / 75, 76, 77
Thuja occidentalis (ヒノキ科 / クロベ属 / ニオイヒバ) / 278, 310
Tilia (アオイ科 / シナノキ属) / 35, 70, 84
T. cordata (フユボダイジュ) / 84
T. japonica (シナノキ) / 35, 70
Torreya (イチイ科 / カヤ属) / 20, 53, 54, 57, 103
T. nucifera (カヤ) / 53, 57, 103
Tristania conferta (フトモモ科) / 175
Trochodendron aralioides (ヤマグルマ科 / ヤマグルマ属 / ヤマグルマ) / 25, 44, 75, 76, 78, 243
Tsuga (マツ科 / ツガ属) / 21, 37, 38, 40, 310
T. canadensis (カナダツガ) / 310
T. sieboldii (ツガ) / 28, 37, 38, 40
Ulmus (ニレ科 / ニレ属) / 66, 86, 126, 135, 136, 281, 297
U. alata / 86
U. americana (アメリカニレ) / 86, 126, 135, 136, 281, 297
U. parvifolia (アキニレ) / 66
Viburnum (レンブクソウ科 / ガマズミ属) / 66, 70, 124, 144
V. dilatatum (ガマズミ) / 66, 70
V. odoratissimum var. *awabuki* (サンゴ

ジュ) / 70, 124, 144
Wisteria (マメ科/フジ属) / 86
Zelkova serrata (ニレ科/ケヤキ属/ケヤキ)
 / 28, 35, 37, 38, 40, 66, 86, 256

一般項目

アルファベット

^{13}C NMR 法 / 129
 DNA / 233
 ECF 漂白 / 327
 GH ファミリー / 196, 197
 GT ファミリー / 193, 197
 reaction phloem / 62, 84, 87
 RNA / 233
 S_3 層の消失 / 99, 101
 TCF 漂白 / 327
 unusual tracheid / 76

あ 行

あて材 / 41
 — の定義 / 42
 — の化学成分 / 125
 — の抽出成分 / 145
 圧縮あて材 / 43, 50, 98, 99, 138, 145,
 146, 148, 157, 163, 165, 218, 227, 291,
 309, 310, 317
 — 仮道管 / 89, 91, 138, 154, 232,
 294, 295
 — から正常材への移行 / 104
 — の衝撃強さ / 318
 — の成長応力 / 227
 — のせん断強さ / 318
 — の縦圧縮強さ / 317
 — の縦引張強さ / 317
 — の曲げ物性 / 315
 — のリグニン / 138
 引張(ひっぱり)あて材 / 44, 67, 81, 105,
 140, 145, 146, 166, 167, 218, 235, 295,
 313, 319, 321, 322, 331
 — の成長応力 / 237
 — の縦圧縮強さ / 319, 322
 — の縦引張強さ / 319
 — の透過性 / 315
 — の曲げ物性 / 315
 — の密度 / 313

— のリグニン / 140
 S-アデノシルメニオニン (SAM) / 290
 アブシシン酸 / 269, 276
 亜麻 / 170, 174
 アミノシクロプロパンカルボン酸 (ACC) /
 290, 295
 アラビドプシス変異体 (korrigan) / 208
 アラビナン / 170, 173
 アラビノース / 170, 209
 アラビノガラクタナーゼ (AG) / 210
 アラビノガラクトタン / 209
 アラビノガラクトタンプロテイン (AGP) /
 168, 170, 209, 210
 アラビノキシラン / 168
 アラビノ-4-O-メチルグルクロノキシラン
 / 132, 160, 161

維管束形成層 / 15, 62
 維管束植物 / 198
 異形細胞 / 20, 22, 25
 板の反り / 254, 324
 板の曲がり / 254, 324
 一次壁 / 16, 65, 96, 97, 112, 149, 153, 159,
 160, 162, 171, 172, 205, 211
 イチョウ類 / 13
 遺伝子 / 233
 遺伝子発現量 / 233
 イヌカタヒバ / 199
 イネ (*Oryza sativa*) / 197, 285
 イネ馬鹿苗病 / 284
 異方性 / 38, 311, 324
 いぼ状層 / 152, 156
 インドール酢酸 (IAA) / 18, 269, 291
 — 運搬体 / 270
 — 極性移動阻害剤 / 269
 — 転流抑制 / 294
 ウニコナゾール-P / 283, 287

APG 植物分類体系 / 235
 エキソサイトーシス / 151, 159
 S/G 比 / 142, 180, 288
 エスレル / 294, 295, 296
 エセフォン / 294, 296
 枝 / 247
 — の形状パターン / 248
 — の平衡位置 / 252

エチレン／269, 276, 282, 287, 288, 289,
293, 294, 295, 296, 297

——の合成経路／289

X線回折法／169

エビセリウム細胞／20, 21

エレメンタリーフィブリル／127

塩化亜鉛ヨウ素染色／65, 78, 81, 82

エンドウ (*Pisum sativum*)／294

横断面／18

応力／219

圧縮応力／220, 222, 323

引張応力／220, 222, 323

応力-ひずみ曲線／40, 221

オーキシン／83, 244, 269, 274, 276, 281,
282, 288, 291

——移動阻害剤／278

——排出運搬体／272

オボジット材／60, 86, 146, 163, 229, 318,
319, 321, 322

か 行

開芽／274

解放ひずみ／222, 223, 227, 228, 230, 237,
256, 258, 259

解放ひずみの測定手順／224

開葉／274

加温処理／273, 274

仮道管／15, 19, 22, 50, 52, 59, 149, 227,
232, 313

——のうね／94, 101, 149, 155

——の裂け目／97, 149

——の壁孔／52

カフェー酸 O-メチルトランスフェラーゼ
(CAOMT)／164

下偏成長／250

過マンガン酸カリウム (KMnO₄) 染色／106,
110, 112, 175, 177, 178

紙の引裂強さ／331

紙の強度／331

ガラクトタン／65, 132, 160, 161, 167, 170,
173

ガラクトツロン酸／170

ガラクトース／170, 173, 206, 209

ガラクトグルコマンナン／132, 160, 161

ガラクトシルトランスフェラーゼ／206

カルコフルオール／149

環状剥皮／278

気根／58, 78

キシラナーゼ (Xyl)／210

キシラン／66, 161, 167, 168, 208

——の合成／208

キシロース／169, 170, 206, 209

キシログルカナーゼ／172

キシログルカン／130, 170, 171, 195, 206,
209, 211, 212

——の合成／206

キシログルカンエンドグリコシラーゼ
(XEG)／210

キシログルカンエンドトランスグルコシ
ラーゼ (XET)／172, 195, 207

キシログルカンエンドヒドロラーゼ (XEH)
／195

キシログルカングルコシルトランスフェ
ラーゼ (XGT)／206

キシロシルトランスフェラーゼ／206

逆転写PCR／234

吸光度／230

急速凍結・凍結置換法／154

吸着性有機ハロゲン (AOX)／327

キュウリ (*Cucumis sativus*)／199

極限粘度数／331

鋸歯状突起／21

グアイアシルリグニン／31, 72, 126, 142,
164, 199, 242

屈性／244

XEG 組換え体ポブラ／210

クラーソンリグニン／69, 229, 234, 241

クラフト蒸解／327, 328

グリカナーゼ／209

グルカン鎖／206

UDP-グルコース／203

グルコース／169, 170, 203, 206, 209

グルコマンナン／30, 167

形質転換ポブラ／172, 173

傾斜回復モーメント／245, 247

傾斜屈性／244

傾斜刺激／96, 104, 232, 244

形成層／15, 80, 88, 89, 91, 93, 98, 140, 148,
222, 225, 267, 268, 269, 270, 271, 272,
273, 274, 275, 287, 289, 291, 317

形成層活動／267, 269, 273, 274, 289, 294
 形成層活動の周期性／267
 形成層始原細胞／15
 形成層分化帯／232
 ケイヒ酸 4-ヒドロキシラーゼ (C4H)／164
 ケイヒ酸モノリグノール経路／148
 結合水／36, 310
 原形質／21
 顕微分光測光法／168, 177, 180

 光屈性／244
 光顕オートラジオグラフィー／32
 光合成／14
 紅藻／200
 高分解能走査電子顕微鏡 (FE-SEM)／154
 広葉樹／22
 広葉樹材／13, 15, 22
 環孔材／23, 106
 散孔材／23, 107, 113
 半環孔材／23
 放射孔材／23, 24
 無孔材／25
 無道管材／25
 紋様孔材／23, 24
 広葉樹材の管孔性／22
 散孔性／22
 半環孔性／22
 広葉樹材の構成細胞／21
 黒液／328
 コニフェリン／140

さ　　行

サイトカニン／269, 274, 275
 材の狂い／309
 材の反り／309
 材の曲がり／52
 材の割れ／53, 309, 324
 細胞間隙／227
 細胞間層／16, 31
 細胞間道／21, 25
 細胞コーナー部／138, 148, 149, 151, 160,
 161, 162, 168, 178, 180
 細胞の位置情報シグナル／271
 細胞壁の肥厚／16, 96
 さや細胞／22
 サフラニン-ファストグリーン染色／78,
 81, 82

3 線式結線法／224
 残留応力／217, 222, 323
 残留応力解放ひずみ／222

 シアノバクテリア／193
 GA20-酸化酵素／275, 288
 G 繊維 (ゼラチン繊維)／83, 174, 236, 237,
 297, 315
 G 層 (ゼラチン層)／44, 67, 78, 166, 209,
 286, 315, 320
 ——の成分分布／169
 ——のセルロース／127
 ——のセルロースマイクロフィブリル／
 128, 169
 ——の堆積／65
 ——の揉め／64
 G' 層 (遷移型 G 層)／114
 紫外線吸収スペクトル／166
 紫外線顕微分光法／138, 162, 168, 229, 241
 師管要素／83
 軸方向仮道管／98
 軸方向柔細胞／15, 20, 22, 25
 師細胞／62
 姿勢制御／211, 232
 自発休眠／272
 師部／14, 26, 62, 83, 85, 86, 208, 267, 268,
 270, 288
 一次師部／26
 師管要素／26
 師細胞／26
 師部柔細胞／26, 62, 83, 274
 師部繊維／26
 師部放射柔細胞／26, 62, 83
 スクレレイド／27
 二次師部／26
 伴細胞／26, 83
 ジベレリン／247, 269, 274, 275, 276, 282,
 283, 284, 288
 ジベレリン生合成阻害剤／283, 287
 ジベレリン投与／248
 ジャスモン酸／269, 276
 シャドウイング／128
 周囲仮道管／21
 収縮異方性／311
 自由水／36
 シュート／62, 269
 重力屈性／244, 289

重力刺激／245
 重力ストレス／289
 樹冠／14, 252
 樹幹／81, 210, 217, 268, 269, 271, 272, 273, 274, 276, 287
 —— 内残留応力／217, 218, 219
 —— の人為的傾斜／79
 樹形／243, 246, 250
 樹脂細胞／20
 樹脂道／21
 軸方向樹脂道／21
 垂直樹脂道／20, 21
 水平樹脂道／21
 放射樹脂道／21
 樹体／267
 樹皮／62
 樹木／14
 温帯樹木／58, 253, 256
 熱帯樹木／58, 78, 79, 176, 253, 256
 樹齡／259
 蒸解釜／326
 傷害樹脂道／21
 上偏成長／250
 植物ホルモン／18, 83, 247, 268, 274
 シリンギリグニ／31, 88, 126, 142, 177, 181, 199
 シロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana*)／164, 197, 205, 208
 人工乾燥／324
 心材／14, 313
 心材成分の沈着／313
 心裂け(丸太の)／217
 真正双子葉類／235
 真正木繊維／22
 新生木部／89, 217, 222
 伸長成長(一次成長)／243, 246, 267
 伸長成長帯／244
 心割れ(丸太の)／217, 254, 323
 垂層分裂／267
 スクレイド／62, 83, 84, 88
 スクロース合成酵素(SuSy)／204, 205
 ストランド仮道管／20
 スプリングバック／225
 赤外分光分析法／169
 成熟材／318

正常材仮道管／94
 正常材からあて材への移行／103, 105, 107, 175
 脆心／323
 成長応力／217, 218, 222, 323
 —— 解放ひずみ／223, 228, 230, 255, 259
 —— による加工障害／217
 成長ひずみ／223
 成長輪／18
 静的平衡／219
 接線断面／19
 セルラーゼ／208, 210
 セルロース／27, 28, 69, 149, 158, 169, 193, 206
 —— 含有率／125, 167, 241, 330
 —— の結晶化度／331
 —— の結晶構造／29
 —— の重合度／28
 —— の生合成／203
 セルロース I_{α} ／29, 128
 セルロース I_{β} ／29, 128, 169
 セルロース合成酵素(CesA)／193, 205, 206
 セルロースミクロフィブリル／29, 127, 149, 178, 206, 207, 241, 310
 繊維間結合／331
 繊維状仮道管／22
 繊維飽和点／36, 310, 324
 早材／17, 50, 89, 175, 330
 早材仮道管／88, 93
 走査電子顕微鏡(SEM)／60, 233
 双子葉類／235
 早生樹／253, 255
 —— の成長応力／255
 —— 植林／253
 草本植物／15

た　　行

タイル細胞／22
 縦弾性係数／221
 縦ヤング率／318, 321, 322
 タバコ (*Nicotiana tabacum*)／288
 他発休眠／272
 弾性／220
 —— 定数／221
 —— 法則(フックの法則)／221
 —— 率／39

タンニン／63
単壁孔／20

チオアシドリシス分析／138
チトクロームP450／199, 201
抽出成分／27, 31, 145
直立細胞／22
直径成長／246

つる植物／174

低温環境／272
電界放出型走査電子顕微鏡 (FE-SEM) ／
169
電気抵抗線式ひずみゲージ／223
天然乾燥／324
デンプン量／274

透過電子顕微鏡／149, 177, 178
道管／22, 108
—— 径／70
—— 要素／15, 21

な 行

内皮デンプン鞘細胞／289
N-1-ナフチルフタラミン酸 (NPA) ／269,
291

二次師部／15, 267
二次成長／217
二次壁／16, 32, 50, 96, 159, 205
S₁+G 型／65, 105, 112, 166, 175
S₁+G' 型／114, 116
S₁+S₂+(G+G_L)_n 型／85, 88
S₁+S₂+G 型／65, 85, 86, 88, 105, 106,
108, 112, 116, 166
S₁+S₂+S₃+G 型／65, 105, 110, 116, 166
S₁+S₂+S₃ 型／112
S₁+S₂ 型／84, 86, 88
SS₂(L) 層／52, 53, 92, 97, 99, 104, 125,
138, 151, 230
SG 型／65
二次壁堆積／89, 99
二次木部／15, 146, 210, 217, 243, 244, 245

根／14

ネオリグナン／146, 148
ねじれ／53
粘液細胞／25
年輪／18

は 行

PATAg 法／151, 158, 160
p-クマリルアルコール／165
p-ヒドロキシフェニルリグニン／31, 138,
163, 165, 181, 199
パルプ／325-332
—— 収率／330, 331
—— 白色度／330, 331
亜硫酸パルプ／326, 328
化学パルプ／326
クラフトパルプ／326, 327
ソーダパルプ／326
半化学パルプ／329
板根／58, 78
晩材／17, 50, 89, 175, 330
晩材仮道管／89

ピーリング反応／328
ヒカゲノカズラ (*Lycopodium clavatum*) ／
197
挽き曲がり／323
比強度／317
被子植物／140
ひずみ／219, 220
ひずみゲージ法／223, 224, 226
肥大成長／15, 19, 217, 243, 258, 267, 273
肥大成長速度／258
ピッチトラブル／328
引張応力／314
ヒマワリ (*Helianthus annuus*) ／294
表面成長応力／218, 222, 226

ファイバースクレレイド／88
ファシクリン様アラビノガラクトタンプロテ
イン (FLA) ／180
フェニルアラニンアンモニリアーゼ
(PAL) ／164, 201
付加成長／16
複合細胞間層／138, 168
フコシルトランスフェラーゼ／206
フックの法則／39, 221
負の重力屈性／244, 247

有縁壁孔対／313
 ——の孔口／313
 ——の壁孔膜／313
 油細胞／25

ら 行

裸子植物／53
 らせん状のうね／91, 98, 151, 153
 らせん状の裂け目／52, 53, 60, 91, 94, 98,
 100, 103, 140, 151, 155, 165, 227
 らせん肥厚／20, 21, 54, 91, 98, 99, 101,
 103, 104
 Sらせん／54, 99
 Zらせん／54, 99
 ラッカーゼ／165, 234
 ラテラル材／60
 ラマン分光法／177
 ラムノガラクトツロナン I (RG-I)／173
 ラムノガラクトツロナン II (RG-II)／209
 ラメラ構造／66, 128, 152
 ラリシレジノール／146

リグナン／146, 148
 リグニン／16, 27, 30, 48, 69, 72, 88, 104,
 126, 138, 142, 149, 162, 163, 165, 170,
 177, 181, 198, 199, 208, 242
 ——含有率／125, 126, 140, 142, 145,
 165, 167, 227, 229, 232, 330
 ——製品／329
 ——前駆物質／97, 104, 115, 140, 163,
 175
 ——呈色反応／34, 48
 ——の生合成／208
 ——の沈着／162, 178
 ——分布／88, 92, 144, 164, 165, 167, 180
 利用歩留まり／219
 緑藻／196, 200

わ 行

ワタ (*Gossypium arboreum* var. *obtusifolium*)
 ／130

あ と が き

監修者である、宇都宮大学名誉教授 吉澤伸夫先生は、1970 年代初頭から 2013 年までに、あて材の形成と組織構造に関する研究をライフワークとして精力的に進められ、数多くの論文を発表されてきました。1990 年頃までは、針葉樹の圧縮あて材に関する研究を進められ、1986 年 3 月には、“Cambial responses to the stimulus of inclination and structural variations of compression wood tracheids in gymnosperms(針葉樹における傾斜刺激に対する形成層の応答と圧縮あて材仮道管の構造変化)”により京都大学より農学博士を授与されました。1980 年代後半以降では、広葉樹のあて材、特にゼラチン層を形成しないあて材にも興味をもたれ、これについても研究を進められてきました。他にも木質科学に関する様々な研究をされておられましたが、およそ 40 年にわたり行ってこられたあて材研究は、とりわけ思い入れが強く、そのため、2013 年 3 月の定年に際して、これまでの研究成果をとりまとめ「あて材」に関する書籍を執筆したいという希望を持たれていました。

そのような中、2009 年 3 月に長野県松本市で開催された日本木材学会大会の組織と材質研究会の会合において、「あて材」に関する書籍の出版に関する話題が持ち上がりました。この後、吉澤伸夫先生を中心として、内容の検討が重ねられ、2010 年 3 月、監修者を吉澤伸夫先生とし、「あて材」を研究される多くの先生方に編集、執筆をお願いすることとなりました。2011 年には、ほとんどの原稿が集まり、5 月には、編集会議を兼ねて宇都宮大学において、あて材に関するシンポジウムを開催し、いよいよ出版となるかと思われました。その矢先、吉澤伸夫先生が病に冒され、長期の入院を余儀なくされました。先生は、病床にあって、本の出版のことを常に気にかけられ、教え子の一人でもあり、研究室の同僚でもあった私に、事務的なとりまとめの作業を代わって行うように指示されました。しかし誠に残念ながら、吉澤伸夫先生は、2013 年 5 月にこの本を手にする事なく、不帰の人となりました。

吉澤伸夫先生が亡くなられてから、この本を誰がどのようにまとめていくの

かが曖昧なままに、1年があつという間に過ぎてしまいました。この間、作業としては、出来上った初校を編者の先生方と読み進めました。その結果、木質科学を専攻する人以外が読むには、基礎的な木材の性質を解説する章が必要であること、内容の過不足で加筆、修正が必要なことなど、問題が山積みであることが明らかになりました。編者の先生方から、「一度集まって内容を調整してはどうか」というご意見があり、そんな中、2014年5月、初校の修正点を反映した二校が出来あがりました。これを機に、宇都宮で編者の先生方と編集会議をしてはどうかと海青社の宮内 久社長の勧めもあり、2014年6月に編集会議を行う事ができました。この会議の中で、吉澤伸夫先生の遺志を継いでこの本をまとめるのは、私の仕事であるとのお言葉を編者の先生方から頂き、その後、私が中心となって全体のとりまとめを進めることとなりました。

このような長い経緯で、多くの皆様方の御協力によりこの本は完成しました。

完成したこの本を改めて読んでみて、吉澤伸夫先生が、思い描いていた「あて材」を網羅的に解説した書籍が出来上がったのではないかと感じました。また、木質科学の研究者のみでなく、植物学などの他の分野の研究者にも読んで頂けるようになったのではないかと感じました。同時に、吉澤伸夫先生がお元気であった頃、「この本をこれから勉強する若い人たちにどんどん読んでほしい」と言われていたことを思い出しました。吉澤伸夫先生のそんな思いが、読者の皆様に伝われば幸いです。

私の浅学非才のため、藤井智之先生を始めとする編者の先生方ならびに著者の先生方には、多大なご心配とご迷惑をおかけしたことをこの場を借りてお詫び申し上げるとともに、これまでのご協力に心より感謝申し上げます。また、序章の作成にご協力頂いた、高島有哉氏、日下田 覚氏に、校正に多大なご協力頂いた相蘇春菜氏に感謝致します。最後に、本書の出版に、多大なるご協力を頂いた、海青社の宮内 久社長に感謝致します。

編者を代表して 石栗 太

執筆者紹介

(＊編集代表者、丸数字：編集担当箇所、数字：執筆担当箇所)

《監修者》

- * 吉澤 仲夫 (YOSHIZAWA, Nobuo) ①, 1.1.2, 1.2.2, 1.3.1
宇都宮大学名誉教授 (故人)

《編集者・執筆者》

- 相蘇 春菜 (AISO, Haruna) 序, 1.2.2
宇都宮大学農学部森林科学科 日本学術振興会特別研究員
- 飯塚 和也 (IIZUKA, Kazuya) 6.3
宇都宮大学農学部附属演習林 教授
- * 石栗 太 (ISHIGURI, Futoshi) ㊦, ㊦, 序, 1.1.2, 1.2.2, 2.1.1, 6.2, 6.3
宇都宮大学農学部森林科学科 准教授
- 梅澤 俊明 (UMEZAWA, Toshiaki) 2.1.5
京都大学生存圏研究所森林代謝機能化学分野 教授
- 岡山 隆之 (OKAYAMA, Takayuki) 6.4
東京農工大学大学院農学研究科 教授
- 児嶋 美穂 (KOJIMA, Miho) 4.5
京都大学大学院農学研究科 研究員
- 佐藤 彩織 (SATO, Saori) 4.2
名古屋大学大学院生命農学研究科 研究員
- 杉山 淳司 (SUGIYAMA, Junji) 2.1.2
京都大学生存圏研究所 教授
- * 高部 圭司 (TAKABE, Keiji) ②, 2.1.3, 2.2
京都大学大学院農学研究科森林科学専攻 教授
- 野淵 正 (NOBUCHI, Tadashi) 1.1.3, 1.2.3
京都大学名誉教授
- 馬場 啓一 (BABA, Kei'ichi) 3.2.2, 5.3
京都大学生存圏研究所バイオマス形態情報分野 助教
- 林 隆久 (HAYASHI, Takahisa) 3.2.1
東京農業大学バイオサイエンス学科 教授
- 林 徳子 (HAYASHI, Noriko) 1.1.1, 1.2.1, 1.3.1, 1.3.2
(研) 森林総合研究所きのこ・微生物研究領域 主任研究員
- 平岩 季子 (HIRAIWA, Tokiko) 1.1.2, 1.2.2, 1.3.1
宇都宮大学農学部森林科学科 研究員
- 福島 和彦 (FUKUSHIMA, Kazuhiko) 2.1.4
名古屋大学大学院生命農学研究科 教授
- * 藤井 智之 (FUJII, Tomoyuki) 編集
八ヶ岳中央農業実践大学校 校長、森林総合研究所フェロー
- * 船田 良 (FUNADA, Ryo) ⑤, 1.3.1, 5.1, 5.2
東京農工大学大学院農学研究科 教授
- 松村 順司 (MATSUMURA, Junji) 6.1
九州大学大学院農学研究科 教授
- * 山本 浩之 (YAMAMOTO, Hiroyuki) ④, 4.1, 4.3, 4.5
名古屋大学大学院生命農学研究科 教授
- 山本 福壽 (YAMAMOTO, Fukuju) 5.2, 5.4
鳥取大学農学部生物資源環境学科 教授
- * 横田 信三 (YOKOTA, Shinso) ③, 2.1.1, 3.1
宇都宮大学農学部森林科学科 教授
- 吉田 正人 (YOSHIDA, Masato) 4.2, 4.4
名古屋大学大学院生命農学研究科 准教授
- 吉永 新 (YOSHINAGA, Arata) 1.1.4, 1.2.4, 2.1.3, 2.1.4, 2.3
京都大学大学院農学研究科森林科学専攻 准教授

● 監修者紹介

吉澤 伸夫 (Nobuo YOSHIZAWA)

略歴

1948年生まれ、2013年没。1972年宇都宮大学大学院農学研究科修了後、1986年農学博士を取得。助手、講師、助教授を経て1996年に宇都宮大学農学部教授ならびに東京農工大学大学院連合農学研究科(博士課程)教授(併任)となる。2013年に退職し宇都宮大学名誉教授となる。専門は、木材組織学、森林資源利用学。

代表的な論文・著作

(単著)“Cambial responses to the stimulus of inclination and structural variations of compression wood tracheids in gymnosperms”, *Bull. Utsunomiya Univ. For.* 23, 23-141, 1987.

(共著)“Formation and structure of reaction wood in *Buxus macrophylla* var. *insularis* Nakai”, *Wood Sci. Technol.* 27, 1-10, 1993.

(共著)『木材科学講座2 組織と材質(第2版)』、海青社、2011年。

Reaction Wood
Response to Gravity and Survival Strategy of Trees

あて材の科学

樹木の重力応答と生存戦略

発行日 ————— 2016年3月27日 初版第1刷

定 価 ————— カバーに表示してあります

監 修 者 ————— 吉 澤 伸 夫

編 集 者 ————— 日本木材学会 組織と材質研究会

発 行 者 ————— 宮 内 久



海 青 社
Kaiseisha Press

〒520-0112 大津市日吉台2丁目16-4
Tel. (077) 577-2677 Fax (077) 577-2688
<http://www.kaiseisha-press.ne.jp>
郵便振替 01090-1-17991

● Copyright © 2016 ● ISBN978-4-86099-261-3 C3061 ● Printed in JAPAN
● 乱丁落丁はお取り替えいたします

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。本書を代行業者等の第三者に依頼してスキャンやデジタル化することはたとえ個人や家庭内の利用でも著作権法違反です。

ISBN978-4-86099-943-8(PDF)