

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450233

研究課題名(和文) スギ辺材心材間のアポプラスティックな水移動機構の三次元解析

研究課題名(英文) Three dimensional analysis of apoplastic water transport in stem of *Cryptomeria japonica*

研究代表者

内海 泰弘 (Utsumi, Yasuhiro)

九州大学・農学研究院・准教授

研究者番号：50346839

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：重要な造林樹種であるスギでは、その心材含水率は個体間で大きくばらつく。しかしスギ心材の含水率を決定する水の起源と移動経路、水の集積機構について十分には理解されていない。

本研究ではスギの心材に集積する水のアポプラスティックな移動経路解析した。一定の樹高ごとに各年輪における辺材と心材の分布を組織レベルで解析した。辺材年輪数は幹の地上高の増加に従い減少した。一方で、心材化が起こる樹皮からの放射方向の距離は地上高に依存しなかった。このことは幹の上部で心材、下部で辺材となる年輪があることが示しており、年輪境界を経由しない軸方向の水移動経路の存在が示唆された。

研究成果の概要(英文)：In *Cryptomeria japonica* which is an important afforestation tree species, the heartwood moisture content largely varies among individuals. However, it is not sufficiently understood about the origin of water, movement pathway and movement accumulation mechanism which determine the moisture content of the heartwood.

In this study, we analyzed the apoplastic pathway of water accumulation in the heartwood of *C. japonica*, and analyzed the distribution of sapwood and heartwood at a certain tree height in tissue level.

The number of annual rings in sapwood declined as the trunk height increased. On the other hand, the radial distance from the bark to the heartwood did not change in each height. This result shows some annual rings have heartwood at the upper part and have sapwood at the lower part, and suggest the existence of an axial water movement pathway not via the annual ring boundary.

研究分野：木材組織学

キーワード：スギ 心材 辺材 水移動

1. 研究開始当初の背景

スギは我が国における最も重要な造林樹種であり、その植栽面積は人工林の43%と最大である。しかし、高度経済成長期に木材の輸入が始まると共にスギ材を主とする国産材の自給率は減少し、近年は30%未満で推移している。木材自給率を高め、資源循環型林業の振興を図るため、政府により「森林・林業再生プラン」(2009)や「公共建築物等木材利用促進法」(2010)が公表、施行され、スギ材を含む国産材の利用が推進されている。

しかし、建築用材では被加工材の含水率管理への要求が強まり、従来の乾燥を行わない生材から、事前に乾燥処理を行う乾燥材へと需要が移行しつつある。国産材には生材を主とした従来の生産から、外国産材と同等に含水率が管理された乾燥材生産への転換が期待されている。

成熟した針葉樹樹幹の木部では、生細胞を持つ辺材が樹皮側に、全て死細胞からなる心材が髓側に存在する。針葉樹では一般に心材の含水率は辺材の含水率よりも低いが、スギの心材含水率は個体内や個体間で大きくばらつき、辺材と比較しても高含水率になる場合がある。このような心材含水率の大きな個体間変動が材の均質な乾燥を難しくするため、スギ材の利用上大きな問題となっている。

辺材から心材への移行に伴い含水率が低下する機構については様々な樹種で議論されている。我々はこれまでの研究においてスギ木部の水分分布を細胞レベルで精査することにより、辺材において仮道管の放射径が最大になる部位で水の消失が起これ、髓側の年輪になるに従いその頻度が増加することを明らかにした。これは凍結に伴う仮道管での空洞形成(キャビテーション)が、時間の経過とともに蓄積されたためだと考えられる。またスギでは辺材と心材の境界部に移行材と呼ばれる低含水率の領域が存在するが、辺材では生細胞だった放射柔細胞が移行材の心材側で空洞化していた。この空洞化に伴い移行材において放射組織中の細胞間隙に存在する気体が、空洞化した放射柔細胞を介して仮道管へと供給されることで、キャビテーションが促進され、移行材が低含水率になる可能性を想定している。

このようにスギの辺材から移行材に至る含水率の低下現象や低下機構については一定の結果と見解が得られている一方で、スギの心材に局在する高含水領域については、集積した水の起源や移動経路、移動機構について包括的な理解が進んでいない。スギに限らず様々な樹種で心材での水の集積が報告されており、その機構の解明は木材組織学のみならず樹木生理学上の大きな課題となっている。

2. 研究の目的

我が国で最も重要な造林樹種であるスギは、その心材含水率は個体間で大きくばらつく

ため、材の均質な乾燥が困難で、近年利用が拡大している乾燥材への対応に問題を生じている。しかし、そもそもスギ心材の含水率を決定する水の起源と移動経路、移動集積機構についてほとんど解明されていない。そこで本研究ではスギの心材に集積する水の移動経路、特に生細胞の内部を経由しないアポプラスチックな経路における水移動機構について、個体レベルから細胞レベルまでの水の局在解析と蛍光トレーサーによる経路解析を行う。従来検討されてきた複数年輪を横断する放射方向の移動経路に加えて、1年輪内における辺材から心材に至る軸方向の移動経路も解析することで、スギ辺材間の水移動機構の三次元的理解を図ることを目的とした。

3. 研究の方法

スギ樹幹の移行材ではすべての細胞が空洞化している領域があるため、辺材から心材への移動経路として、細胞壁または細胞間隙を経由するアポプラスチックな経路を仮定する。第一に放射方向のアポプラスチックな水移動の有無を検証する。辺材心材を含む試料の辺材側からの給水処理を行い、心材への水の移動の有無を定量的に明らかにし、同時にX線イメージングとcryo-SEMにより水の局在を解析する。第二に、樹軸方向の水移動経路の可能性を検討するため、辺材側に突出した心材を含む同一年輪試料を用いて辺材から心材への比較的短距離での水移動と、梢端方向に辺材から移行材を経て心材になる同一年輪での長距離水移動について、三次元での組織構造解析を行うとともに、辺材に水やトレーサーを注入して水の移動経路を、X線イメージングにより水の局在をそれぞれ把握し、心材への水移動経路と移動機構を三次元で解明することを目的とした。

4. 研究成果

第一に、既往の研究でも検討されてきた複数年輪を横断する放射方向の移動経路での定量的な水移動解析と酸性フクシン水溶液を用いた定性的な経路解析を行った。その結果、辺材および心材内での放射方向の水移動が起こること、一方で、放射方向の水移動には時間を要することが示唆された。

次に、軸方向の水移動経路について検討するため、一定の樹高ごとに各年輪における辺材と心材の分布を把握し、辺材と心材の樹幹内分布について三次元で解析した。その結果、同一年輪において樹軸方向で辺材から心材に変化する事が明らかとなった(図1)。このことから、樹軸方向では経路上での大きな抵抗が予想される年輪境界を経由しない辺材・心材間の移動経路の可能性が示唆された。

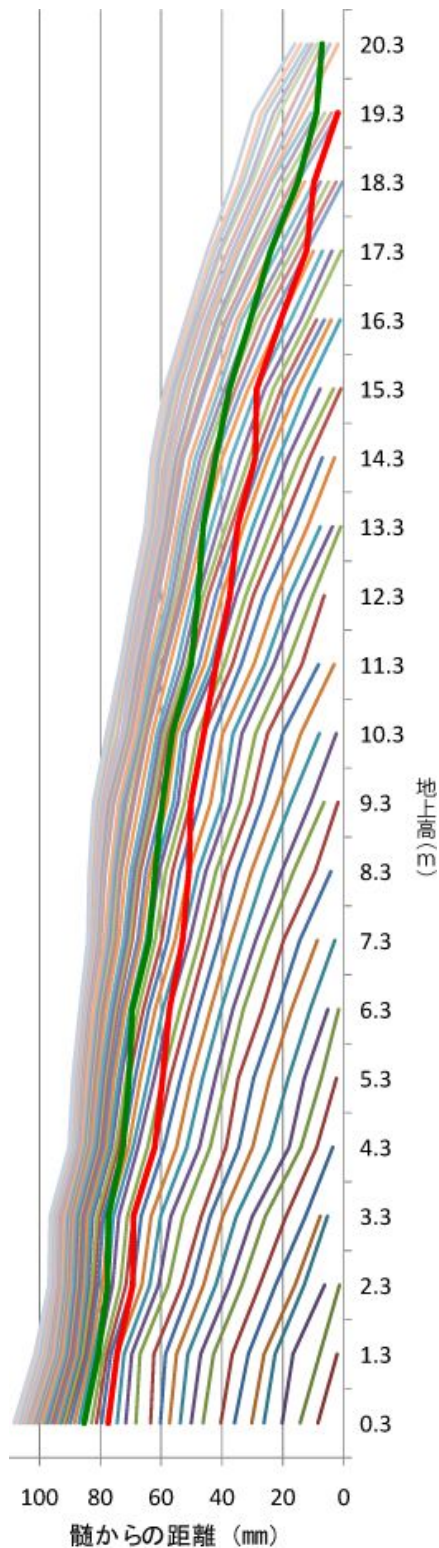


図1 スギ樹幹内における辺材（緑線まで）
・移行材（赤線まで）・心材分布解析図

最後にスギの辺材と移行材,心材間および各組織内の液体の透過性を評価するため,放射方向及び軸方向から水を加圧ないし減圧注入し,マイクロフォーカスX線CTを用いて非破壊で水移動様式を解析した.その結果,放射方向の辺材から移行材への水移動は検出できなかった一方で,軸方向では移行材において水の移動がわずかながら認められた

ことから(図2),放射方向と比較して軸方向の水移動経路の抵抗が小さく,同一年輪に樹軸方向で辺材,移行材,心材を含んだ場合に,辺材と心材との間で水の移動が起こり得ることが示された.

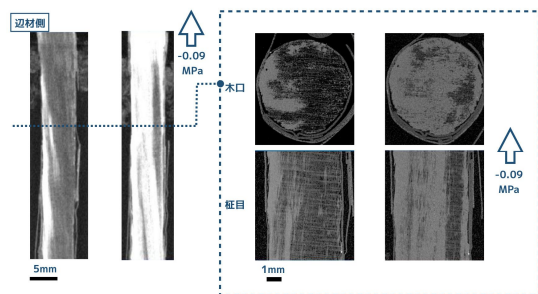


図2 . マイクロフォーカスCTによるスギ樹幹軸方向の水移動解析

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 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

Nagai, S., Yazaki, K., Utsumi, Y.,
Heartwood formation progresses
basipetally in individual annual rings of
Cryptomeria japonica stems. The 9th
Pacific Regional Wood Anatomy Conference,
2017

矢崎健一, 永井智, 竹之内暁子, 渡邊誠,
内海泰弘, 人工的な圧力勾配下でのスギ
移行材の液体の透過特性, 第 67 回日本木材
学会大会, 2017

永井智, 内海泰弘, 矢崎健一, フラット
ベッドスキャナと ImageJ 画像解析シス
テムを用いたスギ心材色の簡易評価, 木材加工
技術協会第 33 回年次大会, 2015

〔図書〕(計 0 件)

〔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：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内海 泰弘 (UTSUMI YASUHIRO)
九州大学・農学研究院・准教授
研究者番号：50346839

(2) 研究分担者

永井 智 (NAGAI SATOSHI)
兵庫県立農林水産技術総合センター・主任
研究員
研究者番号：30463417

矢崎 健一 (YAZAKI KENICHI)
独立行政法人森林総合研究所・主任研究員
研究者番号：30353890

(3) 連携研究者

山下 満 (YAMASHITA MICHIRU)
兵庫県立工業技術センター・主任研究員
研究者番号：20470263