

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23658127

研究課題名(和文)高電圧パルスを用いた形成層マーキング法の確立

研究課題名(英文)Development of new cambial marking method by using high DC voltage pulse.

研究代表者

岡田 直紀 (Okada, Naoki)

京都大学・地球環境学堂・准教授

研究者番号：40335302

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円、(間接経費) 630,000円

研究成果の概要(和文)：目に見える年輪を形成しない熱帯の樹木の肥大成長を調べる手法開発を目的として、直流高電圧パルスで形成層を処理し、それによって形成される傷害組織を目印とするマーキング手法の開発を行った。このマーキング手法と組合わせて、形成層活動の季節変化をモニタリングするために、交流インピーダンスの計測を行った。

温帯と熱帯の広葉樹は300-500vの電圧で異常組織を形成した。形成の程度は樹種によって異なったが、1)薄い細胞壁をもつ道管と木部繊維の形成、2)放射柔細胞列の増加と柔細胞の異形化、3)柔細胞での沈着物生成、の変化が共通して観察された。インピーダンスの変化には季節性が見られた。

研究成果の概要(英文)：DC high voltage pulse was applied to tree cambium to develop an effective cambial marking method for estimating tree growth of ring-less tropical trees. In addition, bio-impedance of tree cambium was also monitored for estimating seasonal changes of cambial activity. Temperate tree species formed abnormal cells and tissues by treating 300-500 v. The degree of abnormal tissue formation was different by species, but common features were observed as follows: (1) formation of thick-walled vessel element and wood fibers, (2) increase in tangential row of ray cells, and formation of abnormal-shaped ray parenchyma cells, and (3) formation of colored-substances in parenchyma cells. The value of impedance showed seasonal changes, probably reflecting the difference of cambial activity.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：熱帯樹木 成長輪 形成層 高電圧パルス

1. 研究開始当初の背景

熱帯には季節がないので、そこに成育する樹木には年輪がないものとかつては広く信じられていた。近年になって、温帯ほど明瞭ではないにせよ熱帯にも季節があり、多くの樹木に成長のリズムがあることが報告されてきた。実際に多くの熱帯樹木で木部横断面には同心円状の構造が見られ、また道管などの木部細胞の内径が髄から形成層に向かって周期的に変化することが報告されている。これらの特徴が、成育環境の作用によって木部に形成された成長輪であることは疑いない。この構造の成因を明らかにすれば熱帯樹木の年輪解析に大きな進歩をもたらすと期待される。

組織形成の季節性を調べるためには、従来はナイフや釘を用いて幹にキズを付け(形成層マーキング)、後に木部組織を採取して成長幅を計測していた。しかしこの方法では、幹の同じ場所で繰り返し測定が出来ない、異常組織が形成されて測定が出来ない、2年以上にわたって同じ個体で測定できない、などの欠点がある。年輪解析に利用するためには、同じ部位で複数年にわたって細胞数の増加や形態変化を見る必要がある。これには、局所的に明瞭な印付けができて、傷害に対する樹木自身の反応が小さいことが条件である。

以上のような背景から、熱帯樹木の肥大成長を推定するための、あらたな形成層マーキング法の開発が必要であった。

2. 研究の目的

本研究では、熱帯樹木の木部における細胞数の増加と形態変化の季節性を調べる技術の開発を行うこととした。そのために、高電圧パルスを利用した形成層へのマーキング法の適用を試みた。

2. 研究の方法

(1)形成層マーキングと異常組織の観察

直流高電圧パルスによるマーキングは温帯樹種と熱帯樹種の両方について行った。

温帯樹種の試料はカツラ、ユリノキ、トチノキ、アラカシで、いずれも京都大学構内に植栽されたものである。マーキングに用いた装置の仕様は以下の通りである。単3乾電池3本を電源とし、コンバータで交流に変換して300-500Vに昇圧後、再び直流に変換する。電極にはステンレス釘を用い、樹高方向に5cmの間隔で木部に達するまで打ち込んだ。電圧は300, 400, 500Vの3通りで、それぞれ0.5秒通電した。マーキングは6月7日と7月19日の2回行い、試料採取は12月12日に行った。試料は成長錐で2つの電極間の真ん中から採取し、木口切片をサフラニンとファーストグリーンで染色し、光学顕微鏡で観察した。

同様の処理を、半島マレーシアの熱帯雨林、とタイの熱帯季節林においても2012年に行い、2013年に成長錐で試料を採取して、顕微

鏡観察を行った。

(2)インピーダンスの計測

形成層マーキングをほどこしたのと同じ個体についてインピーダンスの計測を行った。乾電池を電源として1000Hzの交流を発生する測定装置を製作し、市販の釘を電極として用いた。2本の電極を5cmの間隔で樹幹の軸方向に打ち込んで測定を行った(図2)。測定の条件を決めるために、鉄釘とステンレス釘の比較、打ち込み深さの比較、繰返し測定での値のばらつきを調べた。2011年3月からはほぼ2週間おきに測定して季節変化を調べた。

4. 研究成果

(1)形成層マーキング

直流高電圧パルス処理によって、温帯の4樹種に共通した以下の変化が見られた。(1)異形の軸方向および放射柔細胞が形成され、(2)細胞壁の薄い木部細胞と道管がみられ、(3)沈着物を持つ柔細胞が出現した(図1)。(1)と(2)の変化はそれぞれ処理を行った時期に形成された組織にみられたが、(3)の変化は処理後およそ数週間後に形成された木部組織にも観察された。処理時期の違いを比較すると、7月に行った処理よりも、6月に行った処理の方がより顕著な変化を引き起こした。500Vの電圧では何れも明瞭な傷害組織が形成されたが、300Vでは顕著な変化が見られない場合があり、処理の効果は樹種や個体によって異なっていた。トチノキやカツラのような比重の小さい樹種では顕著な傷害組織が見られたのに対して、アラカシでは300Vの処理による影響がきわめて小さかった。以上のことから、適当な電圧を選択することで処理による傷害組織の大きさを小さくすれば、材形成の研究に適用できると考えられた。

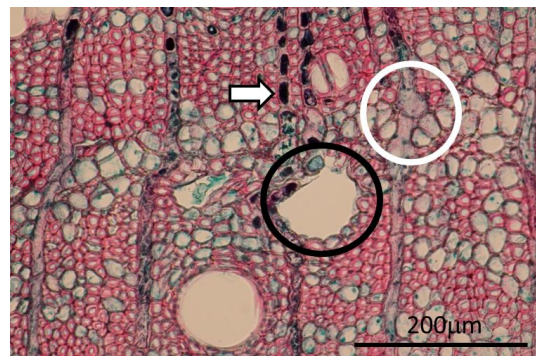


図1.400Vの電圧で処理したアラカシ木口面の光学顕微鏡写真。白丸：異形の放射柔細胞、黒丸：細胞壁が薄くひしゃげた道管、矢印：沈着物を持つ柔細胞。

タイおよびマレーシアの熱帯樹木について行った高電圧パルスによるマーキングにおいても、日本国内の樹種で見られたのと同様の変化を木部組織にみとめた。すなわち、

電気刺激によって細胞壁形成が中断したためにひしゃげた道管、薄壁木部繊維、放射組織の細胞列の増加と異形の放射柔細胞、胞、異形の軸方向柔細胞、細胞内の沈着物が観察された。薄壁の木部繊維と道管では高電圧処理によって細胞壁形成が停止したことを示しており、細胞の死が起こったものと推定される。それに対して、形成層帯の細胞では細胞死に至ることはなかったようで、処理後いったんは異形の細胞を生産するようになりながらも、ふたたび正常な細胞を作り出すようになっている。

加えた電圧によって、樹種ごとに応答が異なった点についても、温帯樹種と同様であった。すなわち、300Vの電圧では光学顕微鏡によってマーキングを確認できない樹種があり、特に比重の大きい材をもつ樹種では、高電圧処理の効果が小さかった。

直流高電圧を用いたマーキング手法は、電圧を適切に選択することにより異常組織を微小な領域で形成させることができ、また、また樹幹の同じ場所に繰り返し適用できる点で、従来のナイフマーキングなどに比べて優れていた。傷害の影響が小さいことは、試料を同位体分析などに用いる際には有利であると考えられた。その一方で、樹種によっては傷害組織が小さすぎて、特定しにくい場合があった。また、同じ場所に繰り返しマーキングを行った場合、樹種によっては組織が肥厚するものがあった。電極間の距離や処理電圧を変えるなどの工夫を、樹種に応じて行うことによって、上記の影響は緩和できるかもしれない。

(2) インピーダンスのモニタリング

直径を考慮すると、鉄釘とステンレス釘とでは測定値に大きな違いはないといえる。なお、鉄釘は直ぐに錆びるため、長期の測定には使用できない。打ち込み深さが小さく、電極が木部に達していない状態ではインピーダンスは大きいですが、電極が木部に達すると急激に値が小さくなり、その後は大きな変化を示さないことが判った。したがって、釘の打ち込み深さは、先端が木部に達するまででよいものと判断した。5回の繰り返し測定のばらつきは小さく、通常の計測では3回の繰り返し測定で十分と判断した。

4 樹種の測定値は、成長期とともに小さくなり、6、7月に最小値を示した(図2)。その後には値はまた大きくなり、12月から翌年1月にかけてピークを示した。この変化は測定2年目においても同様であったが、2012年の値は全体的に2011年の値よりもやや高めになっていた。図2からは形成層活動に伴ってインピーダンスの値が季節変化しているように見えるが、温度とともにインピーダンスは変化するので、図の変化には気温の効果が加わっている。正確な評価のためには温度補正が必要で、電極と木部が接している部分の温度を正確に測定することが必要とな

る。

幹表面近くの材温とインピーダンスとの関係、および材温と気温との関係を図3に示す。インピーダンスの値は材温と負の相関があり、温度にしたがって一定の割合で変化する。一方、材温は気温に少し遅れながらほぼ同様に変化している。インピーダンスの絶対値そのものは電極の打ち込み深さや、測定個体によって異なるので、個体間の厳密な比較を行うことはできない。しかし、個体の相対的な変化を追跡するだけであれば、気象観測データにもとづいて、インピーダンスの値を補正することが可能であると考えられる。

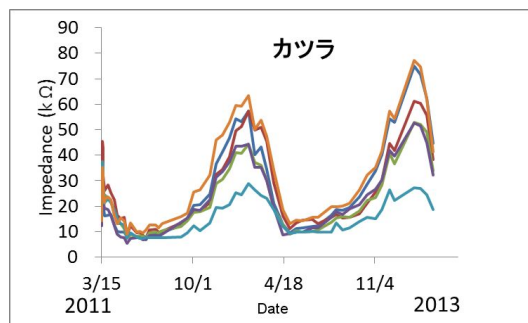


図2. カツラのインピーダンス測定例。2週間おきに2011年3月より2013年3月まで6個体を測定。

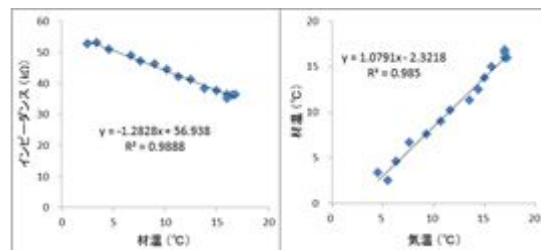


図3. ユリノキのインピーダンス値の温度依存性。左：材温とインピーダンスとの関係、右：材温と気温との関係。2013年3月12日測定。

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 1件)

Amir Affan Abdul Azim & Naoki Okada, Occurrence and anatomical features of growth rings in tropical trees in Peninsular Malaysia: a preliminary study. TROPICS, **23**, 15-31(2014).

〔学会発表〕(計 3件)

岡田直紀、直流高電圧パルスによる形成層マーキング、第62回日本木材学会大会、札幌市（北海道大学）、2012年3月16日
岡田直紀、樹木の電気インピーダンスの計測、第63回日本木材学会大会、盛岡市（岩手大学）、2013年03月27日
Amir Affan Abdul Azim & Naoki Okada, Occurrence and anatomical features of growth rings in tropical trees in Peninsular Malaysia, 樹木年輪研究会・京都、京都市（京都大学）、2013年12月6日

〔図書〕（計 件）

〔産業財産権〕
出願状況（計 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 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

岡田 直紀 (OKADA, Naoki)
京都大学・大学院地球環境学堂・准教授
研究者番号：40335302

(2) 研究分担者

清野 達之 (SEINO, Tatsuyuki)
筑波大学・大学院生命環境科学研究科
(系)・准教授
研究者番号：40362420

(3) 連携研究者

()

研究者番号：