

多周波数方式体脂肪計 MLT-30 を用いた樹木のインピーダンス測定例

坂本いつき・川端自人・鍛代邦夫・本江一郎(日大生物資源)

要旨：樹木の生体インピーダンスは、樹体細胞の活性度や含水量をあらわすとされている。しかしインピーダンスの測定には、大型で多電力を必要とする機器が必要であり、測定対象に合わせた機器を開発しなければならない。安価な既存製品でインピーダンス測定が可能になれば、樹木の生理状態を数値情報として把握し、森林管理、果樹管理、樹勢回復の現場で活用できると考えられる。

市販されている積水化学工業（株）製の体脂肪計 MLT-30 を用いて樹幹のインピーダンス測定の方法を検討し、測定値を Cole-Cole プロットで表現して考察を行った。その結果、人体と樹木の抵抗値の違いを補う為に、樹木の抵抗値に合った電流・電圧を用いること、もしくは低電圧・低電流でも測定可能になるように電極を工夫することが必要だとわかった。

キーワード：インピーダンス、Cole-Cole プロット、抵抗値

I はじめに

樹木の生理活性の状態を、電気抵抗を用いて数値で表わす方法として、インピーダンス測定がある。樹木組織内には細胞液や樹液などの電解質と、細胞膜やそれに密着した細胞壁などの絶縁体が共に存在している。絶縁体は非導電性であるが大きな静電容量を持っている。そのため、直流電流は流れないが、交流電流は流れることができ、細胞の状態によって電流の流れにくさが変化する。

交流電流の流れにくさをインピーダンスと言い、生体インピーダンスは、樹体細胞の活性度や含水量をあらわすとされている(1, 2, 3)。従来のインピーダンスの測定には大型で多電力な機器が必要であり、測定対象に合わせた機器を開発しなければならない(1, 3)。しかし、既存するインピーダンス測定器で樹木のインピーダンス測定が可能であれば、誰にでも簡単に測定が行える。更に連続して測定を行い、得られたインピーダンス値の変化によって、樹木の生理活性の状態を知ることが出来ると考えられる。

積水化学工業（株）製の体脂肪計 MLT-30 は、140 ポイントの周波数で人体のインピーダンスを測定する。1回の測定時間は10秒程度の短時間であり、電池で動作し、コンパクトなので野外での使用も可能である。この MLT-30 を使用して樹木のインピーダンス測定を試みた。インピーダンス測定の対象部位としては、樹幹、枝、葉、根などがあるが、今回は、樹幹のインピーダンス測定について検討した。

II 方法

測定対象の樹木は、幹直径が約 20mm の鉢植えのケヤキを使用し、外界の電氣的ノイズをなるべく受けないように、研究室内で測定した。

MLT-30 の電極は基本が 4 電極法であり、通常は電流電極を外側にして、電圧電極を内側にセットした。

樹木を対象とした今回は、電圧電極を樹幹に沿って二箇所、正負ともにステンレス製の釘を各一本打ち込んだ。更にそれを挟むようにして電流電極をセットした。電流電極は幹全体に電流を流せるように、樹幹に銅製の網を一周させた(図-1)。



図-1. 直径 20 mm のケヤキの電極設置状況

測定されたインピーダンス値は、電流の流れにくさであるレジスタンス $R(\Omega)$ と、交流電流の流れにくさ(誘電率)であるリアクタンス $X(\Omega)$ の和で表現する。通常は R を実数、 X を虚数とした複素数平面上に表し、Cole-Cole プロットを用いる(3)。

Cole-Cole プロットとは、複素数平面上に各周波数で測定されたインピーダンス値を、低周波から高周波の順にプロットしたグラフであり、インピーダンスの意味解釈を容易に行う為に使用する。

静電容量が 1 つであり、生体インピーダンスを測定した場合には、 R が正、 X が負の領域で表され、半円、または半円の一部を描く。MLT-30 はパソコンを用いてデータを取り込むことが可能であり、Cole-Cole プロットを容易に作成することができる。測定された順に、測定結果に番号を振って、Cole-Cole プロットを描いた。

Itsuki SAKAMOTO, Yorihiro KAWABATA, Kunio KITAI, and Ichiro HONGO (College of Bioresources Science Nihon Univ., 1866 Kameino Hujisawa-si Kanagawa-ken 252-8510) The impedance measurement example of the tree by using the many frequency method body fat meter. MLT-30

III 結果

電極間の間隔を検討した際、約5cmでは測定不可となったので、間隔を約4cm、3cmと縮めていった。すると約3cmで測定成功した。しかし、同じ3cmの間隔でも、成功した時と別の場所に新しく釘を打ち込むと、測定不可である時が混在し、成功率は50パーセントとなった。測定成功となった時は繰り返し測定を行っても成功であった。4電極法を行う時、電極間隔を3cm以下にして測定することは物理的に困難であったため、以降は電極間隔を3cmで、釘の位置を変えながら測定を行った。

測定成功した測定データを用いて、Cole-Coleプロットを描いた。グラフの形は様々で、理想とする半円を描いているもの(図-2a)もあれば、リアクタンスが正になっているもの(図-2b)、直線状のもの(図-2c)、螺旋を描いているもの(図-2d)などがあり、電極のセットをやり直すと、Cole-Coleプロットは全く別の形になるということが分かった。また、電極を再セットせずに測定を行うと、類似のグラフが得られた。

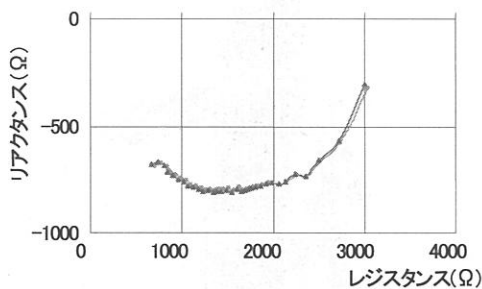


図-2a. 半円を描いたプロット

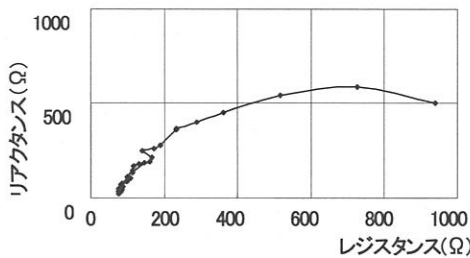


図-2b. リアクタンスが正のプロット

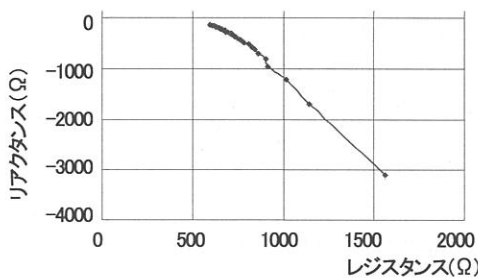


図-2c. 直線を描いたプロット

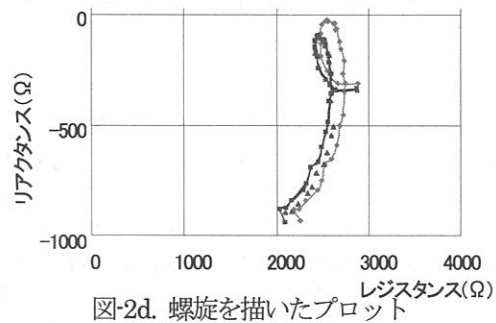


図-2d. 螺旋を描いたプロット

IV 考察

この現象を推定すると、電極を配置しなおすことで測定可・不可が分かれることから、電極である釘と樹木体との接触面に抵抗が生じていることが原因と考えられる。

接触抵抗を減少させるために、日本光電社製のカルジオクリームを電極に塗布し、再び測定を行った。これは、心電図の測定において電極と皮膚との接触抵抗を下げるために市販されており、電極と樹幹との接触抵抗を減少させることを期待して使用した。電流電極の4本の針を打ち込む際に、針先にクリームを塗布した。電圧電極には、事前にドリルで穴を幹に開け、中にクリームを塗布した電極を差し込む方法をとった。しかし、測定成功率は塗布しない場合と変わらず50%であり、クリームは結果に影響しなかった。

得られたCole-Coleプロットの内図-2aは、意味考察を行うのにふさわしい半円を描いている。しかし、人体のRは1kΩ以下であるのに対し、図-2aの時のRは0.7~3kΩであった。MLT-30は人体向けの機器であり、人体よりもはるかに大きい樹木の抵抗値を低電流、低電圧で正確に測りとれているか疑問が残る。確かに半円を描いているが、ノイズなどの影響があったことも考えられる。

正確な樹幹のインピーダンスを測る為には、樹木の抵抗値に合った測定方法が必要である。MLT-30と同様の機能を持ちつつ、従来のものと比べ高い電流を流すことで抵抗値の測定範囲を広げ、枯れ木も想定して2~20kΩを測定できることが望ましい。もしくは、現在のMLT-30でも電極間隔をもっと短くして測定を行うなど電極の工夫でRが1kΩ以下となるようにすれば、樹木のインピーダンス測定をより正確に行える可能性がある。引き続き測定方法を改善していく。

引用文献

- (1) 羅維国ほか(1992) 植物電気インピーダンスの自動測定装置, 電子情報通信学会技術研究報告, 92-146, 23/28
- (2) 山本尚武ほか(1997) 生体インピーダンスを用いた植物の活性評価に関する研究, バイオシステムにおける計測・制御シンポジウム論文集 21/26
- (3) 山浦逸雄(2000) 人と植物の新世纪“電気で植物を測る”という試み(中編) 菊水SAWS. Vol12