

博士論文審査報告書

論文題目：樹木の根の生理活性の電気生理学的研究

申請者：正木伸之

1. 論文内容の要旨

樹木の健康状態を診断する方法として、地上部においては葉の大小、色艶、枯れ枝量等の外観診断が主であった。地下部では細根量と根の分布を調べる程度であった。細根の活力についても目視による方法のみであった。根と地上部を関連付けて知る手段としては、新しい枝の伸長の状況を見て判断することが主体であり、直接に根の内部の生理活性を知る手段はなかった。

マツ枯れの原因として樹幹の養水分通導組織破壊説が一般的に信じられていたが、申請者はこの説に疑問を持った。根の壊死が先行しているのではないかと考え、接種実験を繰り返したところ、例外なく松葉の黄変に先行して白根の褐変壊死が起こることが分った。さらに、根の内部で起こる現象を明らかにするために、申請者は野外樹木に応用できる電気生理学的研究方法を開発し、根の起電活性を解析した。電極として白金線や塩化銀メッキした銀線などを使用した場合は、電極と樹液との間に分極現象が生じ、植物体にはありえない電位が発生したので、非分極性電極と液絡法とを組み合わせる工夫した。

植物細胞の細胞膜には起電性プロトンポンプが備わっており、植物体のいろいろな生理活性に関与している。解析の結果、軸性器官としての電気生理学的基本構造は草本植物と同様の、シンプラスト・アポプラスト構造をしており、起電性ポンプの生理活性は電気生理学的手法により迅速、かつ、正確に計測できることが明らかになった。

マクロな非分極性電極をクロマツ樹幹の木部(導管部組織)に刺入し、細胞を破壊することによって仮導管部アポプラストとの導通を確保し、長時間の連続電位測定に成功した。さらに、地上部のどの部位でもほとんど同じ電位が測定されることを確認するとともに、地下部の導管と根を取り巻く外液との間の電位差(Trans-root electric potential; TRP)を地上部木部に誘導して計測できることを明らかにした。この電位は主として、根の導管壁の細胞膜において発生する電位と外液に接する細胞膜において発生する電位との差であると考えられた。マツがマツ材線虫病に感染すると、まず導管壁に接する細胞膜の起電性ポンプが機能を喪失することが示された。

次に野外のカキノキの樹木で導管圧、樹液流、TRP を長期間連続計測した結果、季節ごとにそれぞれの間に密接な相関関係があることが明らかになった。3 月開葉直前には蒸散流は少ないが TRP の日周振動は大きく、導管圧は陽圧を示した。葉の展開が終わると蒸散量は増加するが、TRP の日周振動は小さくなり、導管圧は陰圧に転じ、落葉前まで継続した。気温 10℃当りの変化で見ても導管圧の 10℃当りの変化と共に、ほとんど同じ傾向が見られるので温度振幅の季節変化によるものではない事がわかった。葉からの蒸散がない時期に根からの押し上げの力が働き、葉での蒸散がある時期には地上部からの吸引力がはたらくことが分った。

日照条件や降雨、急激な気温の変化など環境変化に応じて導管側、表面側それぞれの細胞膜の起電性ポンプは機敏に対応することが示されたが、このときの変化の方向も落葉期、開

葉期の変化と矛盾しないことを明らかにした。

TRP はこの二つの起電性ポンプのバランスの結果として現れるものであるが、導管圧と同時計測することによって、落葉期では、朝、光の信号又は気温上昇により同時に双方の起電性ポンプ活性が活動を開始し、やがて導管側起電性ポンプ活性が表面側起電性ポンプ活性を凌駕することも明らかにした。特に 2 月～3 月の開葉直前期、導管側の起電性ポンプ活性が旺盛になることが水分を押し上げる根圧発生の原因であることを明らかにした意義は大きい。起電性ポンプ活性を促すシグナルは地上部から送られるものと考えられる。

2. 論文審査結果

植物細胞の細胞膜には起電性プロトンポンプが備わっており、植物体のいろいろな生理活性に関与している。起電性ポンプの活性は電気生理学的な手法により、敏速、かつ、正確に測定できる。これまでは若い植物体を用いて解析が行われてきた。申請者は木化した植物体、野外に生育する植物体においてこの解析を行なった。導管部アポプラストにマクロな電極を入れ、長時間の連続電位測定をすることに成功した。植物はシンプラスト・アポプラスト構造をしている。そのため、地上部アポプラストのどの部分に電極を刺入しても、ほとんど同じ電位が測定された。根の外液の基準電極との間に測定される電位は主として、根の導管壁の細胞膜において発生する電位と外液に接する細胞膜において発生する電位との差であると予測された。マツがマツクイムシに感染すると（マツノザイセンチュウ病）、導管壁に接する細胞膜の起電性ポンプが阻害されることが初めて示された。さらに、野外に生息している樹木、カキノキを用いて解析を行い、導管圧の測定および導管流の測定と組み合わせて起電性ポンプの活性を解析した。その結果、導管壁の細胞膜起電性ポンプ活性は蒸散流および導管圧と密接な関係があることが明らかとなった。また根の表面側細胞膜の起電性ポンプは蒸散が盛んで根からの栄養吸収の活発な時期に導管側の起電性ポンプ活性を凌駕していることも明らかにした。木化した植物体や野外に生育する植物体におけるこのような正確、かつ、長期連続の電位測定はこれが初めてであり、その成果も学問的価値が高いと評価される。

よって、本論文は博士論文(理学)として価値のあるものとして認められる。

また、平成 22 年 1 月 21 日、論文内容およびこれに関連する事項について試問を行った結果、合格と判定した。

主査：新免輝男

副査：小倉尚志

：峰雪芳宣

：三村徹郎

(神戸大学大学院理学研究科 教授)