

光学的手法による植物の動態の非接触計測

Optical non-contact measurements of dynamic behaviors of plants

プロジェクト代表者：豊岡 了 (大学院理工学研究科・教授)

Satoru Toyooka, Graduate School of Science and Engineering

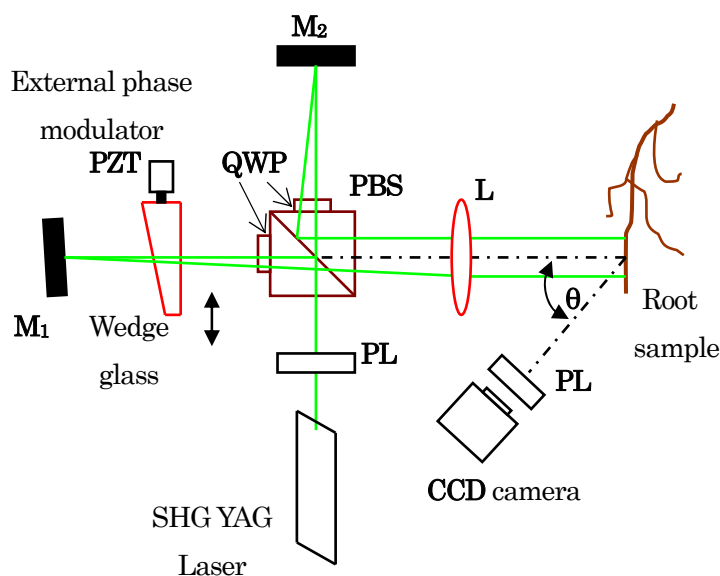
1 はじめに

緑色植物は大地に根を生やし、光合成活動によって大気中の炭酸ガスを固定し、地球環境を安定的に保つための基本的に重要な役割を太古以来続けている。植物は動物と異なり、外敵から逃れるために移動することができないことから、それに代わる様々な生存のための戦略を持っている。その一つが植物の運動である。本研究においては、ビデオ画像を相関解析することによる、マクロスケールにおける植物の運動解析と、独自に開発した超高分解能光波干渉法によるナノスケールにおける植物の成長とゆらぎに関する実験的研究を行った。ここでは、特に後者について、環境センシングの観点から新しい発見がなされているので、アカマツ実生苗の根のナノメータ成長計測に絞って報告する。

植物の根は、重力のもとで地上部を安定的に支えるという力学的役割と同時に、土壌から水分や栄養素を吸収する重要な役割をになっている。後者については、特に菌類との共生により、貧栄養の土壌中のリンを効率的に摂取するメカニズムが巧妙に仕込まれていることはよく知られている。土壌中に深く進出する根は、回旋運動により、成長しやすい方向を探っているようである。また、菌根菌に感染した苗と非感染苗を比較すると、前者が後者に比べて成長速度が速いことが知られているが、本研究で取り上げるナノスケールにおける成長計測においてもその事が裏付けられている。

2 統計干渉法によるアカマツ実生苗の根のナノメータ計測

統計干渉法の原理を右図を用いて説明する。レーザー光は偏光ビームスプリッタ (PBS) で2分され、2枚のミラーや位相変調器などを経由して、根の成長部近傍の2点を照射する。根の表面で拡散反射した光は、CCDカメラの検出面上にスペックルパターンを形成する。これは、ランダムな位相関係でコヒーレントに重ね合わせられた光波の干渉によって形成される、コントラストの高いランダムパターンである。スペックルパターンの各点における位相値は、 0 と 2π の間のいずれかの値を偏りなくとるのである。すなわち、位相の確率密度関数は一様である。このことは、光照射対象が粗面であれば、その性情に無関係に成り立つはずである。統計干渉法は、この統計的な一様性を計測の基準とした方法で、計測精度は物体の状態や光学系の特性とは無関係に、データ点数のみで決まる、という興味ある特徴を持っている。この方法によれば、非接触的に100pm (ピコメータ) レベルの変形計測が可能である。



このことは、光照射対象が粗面であれば、その性情に無関係に成り立つはずである。統計干渉法は、この統計的な一様性を計測の基準とした方法で、計測精度は物体の状態や光学系の特性とは無関係に、データ点数のみで決まる、という興味ある特徴を持っている。この方法によれば、非接触的に100pm (ピコメータ) レベルの変形計測が可能である。

3 菌根菌に感染した苗と未感染苗の根の成長のオゾン耐性の比較

アカマツ実生苗のサンプルは、2種類の菌根菌 (*Ps*および*Cg*) に感染した苗および非感染苗を一定の環境下で育苗し、それぞれ、根の成長部の3mm離れた2点をレーザ光で照射し、その間の成長を0.5秒間隔で計測した。先行実験により、成長速度は1mmあたり毎秒数ナノメートルであること、また非感染苗の成長速度は感染苗と比べると半分以下に落ちる事などが確かめられている。同じ実験を、今回はオゾン暴露下で比較した。

ここでは紙面の関係から、*Ps*感染苗と非感染苗について、雰囲気オゾン濃度120ppb (光化学スモッグ注意報発令レベル) を暴露したサンプルについて得られた結果のみを、右図に示す。

右上図は、*Ps*感染苗のオゾン暴露前およびオゾン暴露1時間、3時間、5時間のサンプルの成長曲線である。右下図は、非感染苗についての同様な結果である。両者を比較すると、第一に感染苗(上)は非感染苗(下)に比べて成長速度が大きい。次に、感染苗ではオゾン暴露による顕著な成長速度の変化は見られないのに対して、非感染苗では、暴露時間にほぼ比例して、成長速度が低下していることが明瞭に現れている。

4. 考察とむすび

根の菌根菌との共生関係については、これまでにさまざまな研究がなされているが、成長計測は例えば乾燥重量の測定などで行われてきた。本研究のように、サブ秒レベルの時間分解能で、根の成長を計測し、共生の効果を明らかにした例はこれまでには知られていない。本実験では、環境負荷としてオゾン暴露実験を行い、共生関係にある苗では非感染苗に比べて、環境ストレスに対する耐性が強いことが明瞭に示された。なお、本報告では触れていないが、この感度レベルで得られる成長速度は秒レベルで安定していない、すなわち、成長ゆらぎがあることも実験的に確かめている。これについては、今後の研究に待たれるが、植物の生命活動と密接に関係する普遍的な現象なのかもしれない。

本研究を遂行するに当たって、実験計画、統計干渉法の実験及びアカマツの共生関係についての議論などについて、門野准教授および三輪客員准教授の協力によってなされた。実際の計測と結果の整理、データ解析および考察は、博士課程3年生Anuraの協力によってなされた。ここに感謝の意を表します。

本研究の成果は、以下の論文にまとめられている。

Anura P. Rathnayake, H. Kadono, S. Toyooka and M. Miwa, "Effects of short-term ozone exposure on nano-scale growth of *Pinus densiflora* seedling roots under ectomycorrhizal infection investigated by statistical interferometry", J. Forest Research (accepted).

