

弾性波計測による作物の水ストレス情報の検出に関する研究 Detection of Water Stress Conditions in Plant using Elastic Waves Monitoring

○上野由樹*・島本由麻*・鈴木哲也**・森井俊広**・河合隆行***

Yuki Ueno, Yuma Shimamoto, Tetsuya Suzuki, Toshihiro Morii and Takayuki Kawai

1. はじめに

作物は、様々な環境要因に影響している。作物の効率の良い栽培・管理には、それらの環境要因を精緻に計測する必要がある。従来から、作物生理に関する研究¹⁾が行われてきている。筆者らは、気泡運動より発生した弾性波を AE (Acoustic Emission) 法により検出・評価を試みている²⁾。導管内部での気泡運動は導管径に依存し、導管径以上の気泡は発生しない。気泡運動起源の弾性波の周波数特性は気泡径に依存するため、気泡運動方程式である Rayleigh - Plesset の方程式により評価が可能である。本報では、検出した弾性波を周波数特性の観点から、比較検討を行った結果を報告する。

2. 実験方法

2.1. 栽培実験

計測および栽培はビニールハウスにおいて行った。栽培土は砂質土を用いた。供試作物は、トマト (*Solanum lycopersicum* L.) を用いた。AE 計測は、350 kHz 共振型センサ M31 を用いて、センサを茎部に設置した。しきい値を 35 dB、増幅値を 60 dB に設定し計測を行った。AE システムから求められる、検出波形を図 - 1 に示す。AE の波形形状を数値的に表したものが AE パラメータである。今回の比較検討には、AE パラメータである A-FRQ (平均周波数)、C-FRQ (重心周波数) を用いた。

2.2. 顕微鏡観察

光学顕微鏡 (OLYMPUS BX51) を用いて、

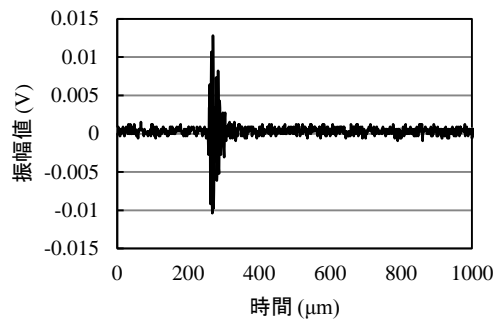


図 - 1 検出波形

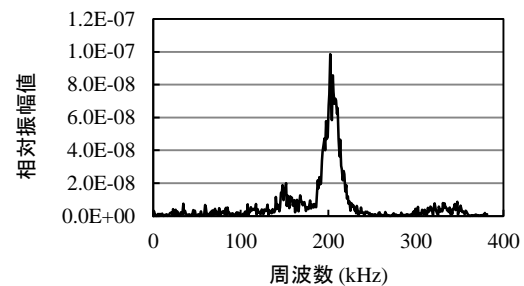


図 - 2 FFT 結果図

株元、株元から 50 cm, 100 cm, 150 cm を観察対象として行い、植物体の横断面を観察した。顕微鏡観察は、倍率を接眼レンズ 10 倍、対物レンズ 4 倍の 40 倍にし、CCD カメラを使用し、木部中心部で導管が最も発達している箇所を撮影した。撮影した画像データの画像解析には、画像解析ソフトウェア (Image J) を使用し、撮影した画像に対して二値化処理を行った。二値化処理は明度によるしきい値を定め、導管の面積、導管径の長軸、短軸の形状特徴量を算出した。

*新潟大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Science and Technology, Niigata University

**新潟大学自然科学系(農学部) Faculty of Agriculture, Niigata University

***新潟大学災害・復興科学研究所 Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University

キーワード: AE 法, トマト, 周波数解析, Rayleigh-Plesset 方程式

3. 結果

AE 計測より得られた検波形 (図 - 1) に対して, 高速フーリエ変換 (FFT) を行った結果を図 - 2 に示す。ピーク周波数は 150 ~ 400 kHz である。Rayleigh - Plesset 方程式より気泡半径と周波数の関係を示したものが図 - 3 である。顕微鏡観察の結果, 50 ~ 130 μm の最大導管径が確認された。そこから考えられる検出波の周波数帯域は 500 kHz 以下である。検出波のピーク周波数と Rayleigh - Plesset 方程式より算出した周波数は, 両指標において 500 kHz 以下であった。これらのことから, AE 法により植物起源弾性波の検出の可能性が本実験結果から示唆されたものと考えられる。

AE 法で検出した弾性波の AE パラメータ (A-FRQ, C-FRQ) と高速フーリエ変換より求めた周波数と Rayleigh - Plesset 方程式より算出した結果を図 - 4 に示す。指標の関係は, ピーク周波数がほぼ類似な範囲で評価された。AE パラメータと高速フーリエ変換結果とを比較すると, AE パラメータのピーク値が高くなることが確認された。周波数の分布範囲は, 導管径から推測される評価値と比較して, AE から算出されるものが狭くなる傾向が確認され, 植物体内で一様に気泡運動が行われていないことが示唆された。

ワ이블解析により求められた, 形状母数 (m) より比較検討を行った (表 - 1)。一般的に形状母数が 1 に近いほど, 分布が広がったばらつきの大きなものとなる。その結果, Rayleigh - Plesset 方程式より求めた解析値は, 1.25 ~ 2.15 の範囲にあり, ばらつきが大きいものと考えられる。AE パラメータである C-FRQ は, 10.01 ~ 18.36 の範囲にあり一つの区画を除くと Rayleigh - Plesset 方程式より求めた解析値より, 高い値を示しており, 解析値よりも狭い範囲に分布していることを表している。

4. おわりに

本報では, 検出した弾性波を周波数特性

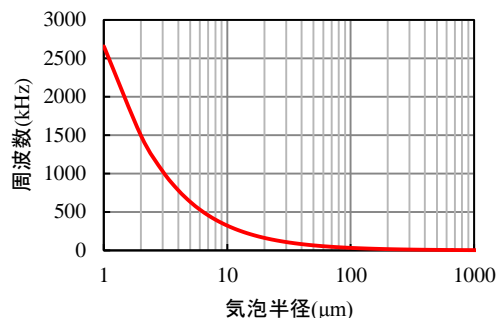


図 - 3 気泡径と周波数の関係

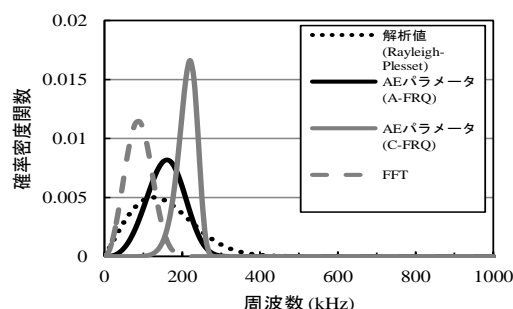


図 - 4 解析値と検出波パラメータ比較

表 - 1 各形状母数比較

区画	解析値 (Rayleigh-Plesset)	AEパラメータ (A-FRQ)	AEパラメータ (C-FRQ)	FFT
1	1.25	9.27	18.36	3.03
2	1.52	1.46	14.55	-
3	2.06	3.73	10.01	2.92
4	1.76	3.73	10.01	2.92
5	2.02	5.66	13.66	0.95
6	2.15	4.78	16.82	1.33

の観点から, 比較検討を試みた。検討の結果, AE 法による作物起源弾性波の検出は可能である。検出した弾性波は, Rayleigh - Plesset 方程式より算出した結果と比較してピーク周波数が類似していることが確認され, 本手法の有効性が示唆された。

参考文献

- 野並浩：作物の水分生理に関する土, 根, 葉, 茎における計測, 日本作物学會紀事, Vol.70, No.2, pp.151-163, 2001.
- 上野 由樹, 鈴木 哲也：AE法を用いた水ストレス条件下で発生したセンリョウ起源弾性波の検出に関する研究, 日本緑化工学会誌, Vol.38, No.1, pp.73-78, 2012.