

周波数解析による植物起源 AE の検出と特性評価に関する研究

新潟大学大学院 学生会員 ○上野 由樹
 新潟大学 学生会員 島本 由麻
 新潟大学 正会員 鈴木 哲也

1. はじめに

植物体は、さまざまな環境要因から影響を受けている。植物体の効率の良い管理には、それら環境要因の制御および植物体の生理現象を精緻に計測する必要がある。従来から植物体の生理現象に関する研究¹⁾が行われている。筆者ら²⁾は、気泡運動より発生した弾性波を AE (Acoustic Emission) 法により検出し、周波数成分の評価を試みている。導管内部での気泡運動は導管径に依存し、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し、その関係は Rayleigh-Plesset の方程式³⁾により評価可能である。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

計測および栽培は、ビニールハウス内で行った。栽培土として砂質土を用いた。供試植物は、トマト (*Solanum lycopersicum* L.) を用いた。給水は毎日一定量を与えた。AE 計測は、350kHz 共振型センサ M31 を用いて、しきい値を 35dB に設定し、基茎部において実施した。AE システムから求められる、AE 波形の模式図を図 - 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。図中に明記した、継続時間、カウント数、最大振幅値、立ち上がり時間などがある。今回の比較検討には、A-FRQ (平均周波数)、C-FRQ (重心周波数) を用いている。

光学顕微鏡 (OLYMPUS BX51) を用いて、接眼レンズ 10 倍、対物レンズ 4 倍の 40 倍にて植物体の横断面を観察した。観察部位は、茎元、茎元から 50cm、100cm、150cm に対して行った。顕微鏡観察は 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) を使用した。撮影した画像に対して二値化処理を行い、導管径分布を計測した。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。

3. 結果および考察

AE 計測より得られた検波形に対して、高速フーリエ変換 (FFT) を行った結果を図 - 2 に示す。筆者らは既存の研究において、ダイズを用いて AE 計測を行った。図 - 3 は、ダイズにおける高速フーリエ変換

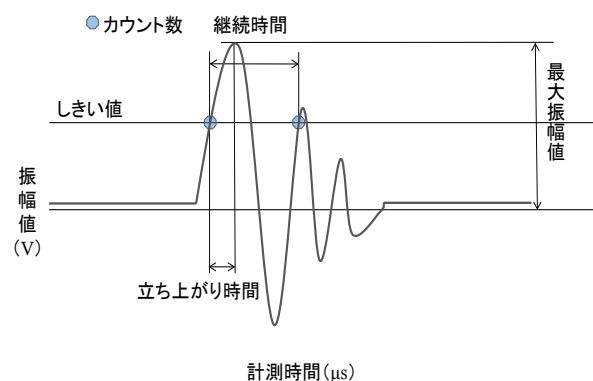


図 - 1 AE 波形の模式図

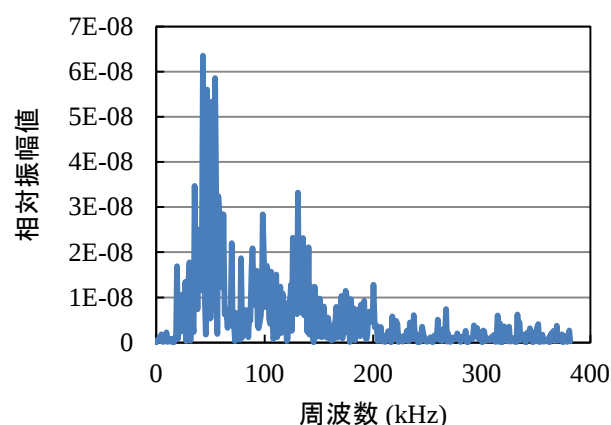


図 - 2 FFT 波形 (本研究)

キーワード AE (Acoustic Emission) 法、緑化、非破壊計測、トマト (*Solanum lycopersicum* L.)

連絡先 〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐 2 の町 8050 番地 新潟大学自然科学系 (農学部)

T E L 025-262-7395 E-mail : suzuki@agr.niigata-u.ac.jp

の結果である。図 - 2, 図 - 3 とともにピーク周波数は、100kHz 以下を示しており、類似する傾向が得られた。このことから、トマトとダイズにおける解析は同様に行うことが可能であると考ええる。以下は、トマトに対する検討結果について述べる。

Rayleigh-Plesset 方程式は気泡半径を基準に検討すると、気泡径が 10 μ m で発生周波数が約 350kHz, 気泡径が 6 μ m で発生周波数が約 500kHz, 気泡径が 3 μ m で発生周波数が約 1000kHz となる。本実験では、顕微鏡観察の結果、50～130 μ m 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 500kHz 以下である。

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。検出波のピーク周波数は、いずれの評価指標においても 500kHz 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 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。

ワイブル解析により求められた、 m : 形状母数より比較検討を行った。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、2.92～196.83 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. まとめ

本報では、検出した弾性波を周波数特性の観点から、比較検討を試みた。検討の結果、AE 法による植物起源弾性波の検出は可能である。既存の研究と比較した結果、同様のピーク周波数帯を示した。検出した弾性波は、Rayleigh-Plesset 方程式より解析的に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。

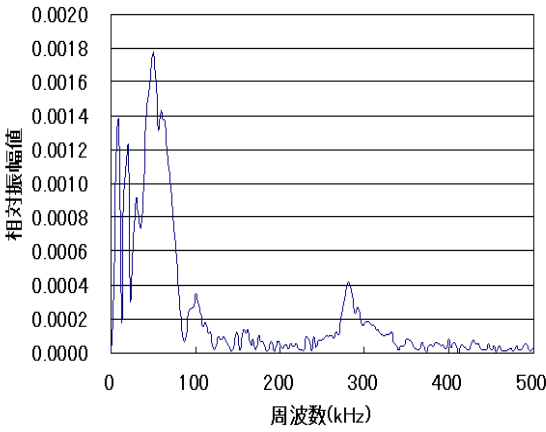


図 - 3 FFT 波形（既存研究）

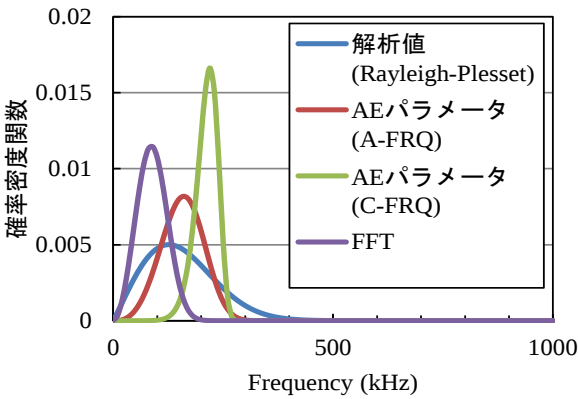


図 - 4 解析値と検出波の各パラメータ比較

表 - 1 各形状母数の比較

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	2.92	2.92
4	1.76	345.28	196.83	2.92
5	2.02	5.66	13.66	0.95
6	2.15	4.78	16.82	1.33

参考文献

1) 野並浩：植物水分生理学，2001。
2) 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。
3) Plesset, M. S. and A. Prosperetti: Bubble Dynamics and Cavitation, Ann. Rev. Fluid Mech., 9, pp.145-185, 1977.