

## ウェーブレット解析を用いた植物起源弾性波の特性評価 Evaluation of Acoustic Emissions in Plant by Wavelet-Transform Analysis

○萩原大生\*・島本由麻\*\*・鈴木哲也\*\*\*

○Taiki Hagiwara, Yuma Shimamoto and Tetsuya Suzuki

### 1. はじめに

植物が水ストレスを受けると道管内部では負圧が増大し、気液二相流となる<sup>1)</sup>。蒸散流における気泡運動には弾性波の発生を伴うことが明らかとされている。筆者らは、この弾性波を Acoustic Emission (AE) 法<sup>2)</sup>により検出することを試み、植物の水ストレス状態を非破壊かつ定量的に評価することを検討している<sup>3)</sup>。本研究では、AE 信号に対して時間周波数解析のウェーブレット変換を用いることで、植物起源弾性波とノイズ波の特性評価を試みた。

### 2. 実験方法

植物体の AE 計測を中心とする植生試験を新潟大学農学部低温棟ビニールハウス内で行った。計測期間は 2018 年 6 月 22 日から 2018 年 8 月 5 日とした。供試植物はトマト (*Solanum lycopersicum* L.)、供試土は黒ボク土を用いた。土壌条件として供試土の乾燥密度を  $0.57 \text{ g/cm}^3$  および  $0.51 \text{ g/cm}^3$  に設定した。給水条件として、毎日給水を行うノンストレス条件と無給水期間を設けたストレス条件を設定した。検討ケースは各条件を組み合わせた 4 ケースとした。AE 計測装置は SAMOS (Physical Acoustics Corporation 社製) を使用した。計測条件はしきい値を 32 dB、増幅値を 60 dB、周波数範囲を 1~400 kHz に設定した。350 kHz 共振型センサ (M31, 富士セラミックス社製) を使用し、高真空ワックスにより供試植物の株元に設置した。

### 3. 弾性波の検出原理

植物起源弾性波は、キャビテーションによる気泡運動起源とされている。この弾性波は気泡運動に伴い急激なエネルギー解放が生じる突発型 AE である。既往研究から、気泡の運動方程式であるレーリー・プレセット (Rayleigh-Plesset) 方程式を用いて気泡半径より推定される周波数帯域と検出される突発型 AE の周波数帯域が類似することが明らかにされている<sup>3), 4)</sup>。図 1 に大気圧下 20 °C の水中における気泡半径と周波数の関係を示す。

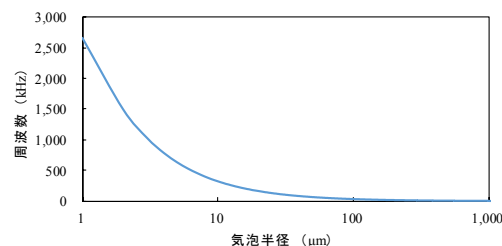


図 1 レーリー・プレセット方程式に基づく  
気泡半径と周波数応答の関係

### 4. 結果および考察

AE 法による検出波を突発型 AE, 合成波, 環境ノイズ, 電気ノイズの 4 種類に分類した。検出された AE 信号に対してウェーブレット変換を行った。マザーウェーブレットはガボールウェーブレットとした。図 2 に検出波のウェーブレット変換図を示す。変換により各波形は異なる信号の分布を示すことが確認された。本研究ではスカログラム ( $|T(a, b)^2|$ )<sup>5)</sup>を重さとした時間周波数

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

\*\*北里大学獣医学部 School of Veterinary Medicine, Kitasato University

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

キーワード: Acoustic Emission (AE), ウェーブレット変換, 検出波分類

平面における重心位置を求め、時間座標を重心時間、周波数座標を重心周波数とした。平面におけるスカログラムの最大値とスカログラムの総和の比を $|T|^2_{\max}/|T|^2_{\text{sum}}$ と定義した。図3に突発型AEと電気ノイズの分布を示す。重心周波数100 kHz付近において分布の境界が確認された。図4に突発型AEと環境ノイズの分布を示す。連続型の振幅を示す環境ノイズでは比 $|T|^2_{\max}/|T|^2_{\text{sum}}$ が減少する傾向が確認された。図5に突発型AEと合成波の分布を示す。判別直線と推定周波数の最小値をしきい値として設定し、評価した。領域\_1に分類される波形は植物起源弾性波の可能性が高いとされる。領域\_1に突発型AEは1,091波形中846波形含まれ、割合は78%となった。合成波は3,831波形中178波形含まれ、割合は5%となった。領域\_1に分類される合成波は突発型AEに類似した特性を有すると考えられるため、今後は別の特徴量による評価が必要である。

### 5. おわりに

ウェーブレット変換より抽出した特徴量を用いることで、検出波の評価が可能であることが示唆された。ノイズ情報の定量化および1波形におけるノイズ処理方法を検討することで、より詳細な植物起源の生体情報を得ることが可能と考えられる。

### 参考文献

- 1) Melvin, T. T. and Martin H. Z., (内海泰弘他訳)：植物の木部構造と水移動様式，シュプリンガー・ジャパン，pp. 49-64, 2007.
- 2) (一社)日本非破壊検査協会：アコースティック・エミッション試験II 2008，pp. 4-35, 2008.
- 3) 鈴木哲也，上野由樹，島本由麻：気泡運動モデルを用いた植物起源弾性波の定量評価，日本緑化工学会誌，Vol. 39, No. 1, pp. 171-174, 2011.
- 4) Plesset, M. S. and Prosperetti, A.: Bubble Dynamics and Cavitation, Ann. Rev. Fluid Mech., Vol. 9, pp. 145-185, 1977.
- 5) Paul, S. A., (新誠一，中野和司監訳)：図説ウェーブレット変換ハンドブック，朝倉書店，pp. 32-36, 2005.

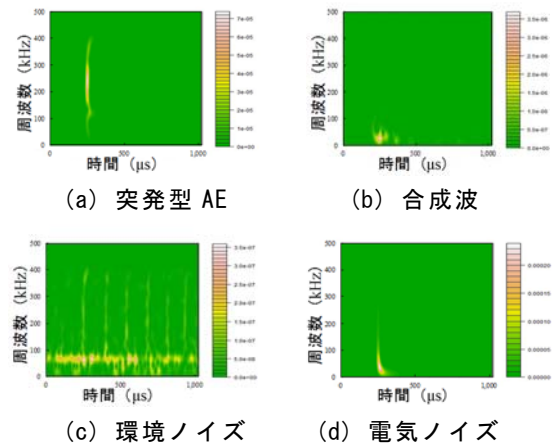


図2 検出波のウェーブレット変換図

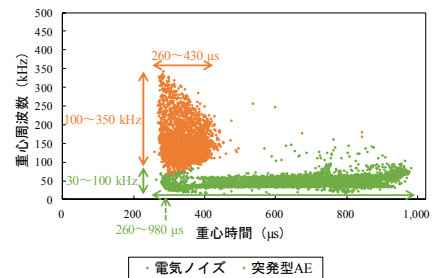


図3 突発型AEと電気ノイズの分布

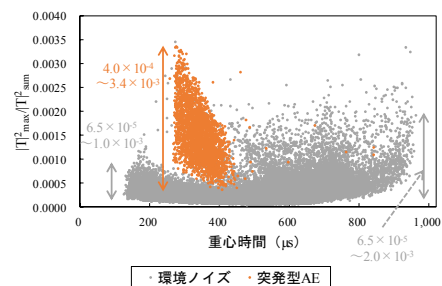


図4 突発型AEと環境ノイズの分布

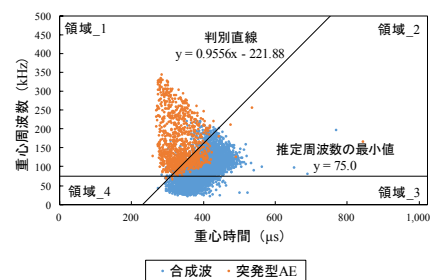


図5 突発型AEと合成波の分布  
(乾燥密度 0.51 g/cm<sup>3</sup>, ストレス条件)