

水ストレスの影響を受けた植物起源 AE の減衰特性評価

Evaluation of Attenuation Characteristics of Acoustic Emission in Water-Stressed Plant

○高橋茉央*・島本由麻**・鈴木哲也***

Mao Takahashi, Yuma Shimamoto and Tetsuya Suzuki

1. はじめに

植物の生長にはさまざまな環境要因が影響している。その中でも水分環境は植物体の水分生理に大きく影響するものであり、植物栽培管理には水分状態の評価が不可欠である。

既往の研究¹⁾において、Acoustic Emission (AE) 法を用いた植物の水分状態の評価が試みられ、弾性波による定量評価の可能性が明らかにされている。道管内のキャビテーション現象を、植物表皮に設置する AE センサで捉える場合、波動伝播の減衰特性を調べることは極めて重要な技術的課題である。

本報では、植物の AE 計測における水ストレス評価の結果を報告する。並びに、波動エネルギーの点から検出波の減衰特性を評価することにより、AE パラメータと水ストレスおよびキャビテーションとの関連性を実証する。

2. 実験方法

栽培土は砂質土を用い、供試植物はトマト (*Solanum lycopersicum* L.) とした。植物の水分状態の指標として、土壌水分計測および植物ホルモン (アブシジン酸: ABA) の定量を行った。AE 計測は 350kHz 共振型センサ M31 を用いて、供試植物の茎部に設置した (1ch, 2ch)。しきい値を 36dB、増幅値を 66dB に設定し計測を行った。毎日 1L ずつの給水を行うノンストレス区と、1週間毎の無給水の期間を設けたストレス区を用意した。本実験期間は 2014 年 9 月 9 日～10 月 27 日である。実験概要図を図-1 に示す。

3. AE 法による水ストレス評価

既往の研究¹⁾により、キャビテーション起源の AE は立ち上がりが明確な突発型波形であることが明らかにされている。一方、流水音や環境ノイ

ズは連続型波形として検出される。本検討では検出された AE 波形から突発型波形のみを抽出し、突発型波形の AE パラメータを用いて植物の水ストレス評価を行う。用いる AE パラメータは、ヒット数、平均周波数 (A-FRQ) および重心周波数 (C-FRQ) である。

減衰特性の評価を行うために、キャビテーション発生時の周波数を推定した。推定には気泡の運動方程式であるレーリー・プレセット方程式を用いた²⁾。周波数と気泡半径の関係を導出した結果を図-2 に示す。周波数と気泡半径は反比例の関係にあり、気泡半径が小さいほど、周波数は高くなるといえる。本検討では道管半径=道管内で発生する気泡半径と仮定することで、キャビテーションによって発生する AE 波の周波数を推定する。

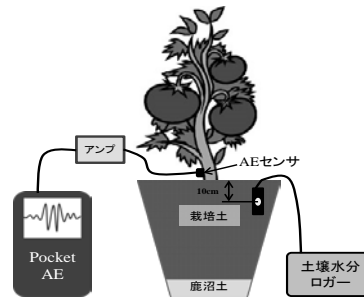


図-1 実験概要図

Experimental set up.

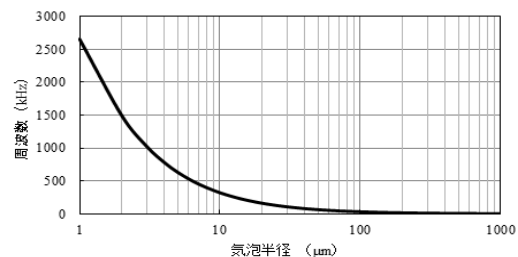


図-2 周波数と気泡半径の関係

Relation between frequency and bubble radius.

*新潟大学農学部 Faculty of Agriculture, Niigata University

**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

キーワード: 減衰, AE 法, キャビテーション

4. 結果および考察

本実験期間のうち、給水を行った期間をノンストレス期、無給水とした期間をストレス期とする。ノンストレス期およびストレス期の突発型 AE 発生頻度を図-3 に示す。突発型 AE はノンストレス期に比べストレス期に増加する傾向が確認され、その差は2倍以上であった。

図-4 および図-5 には、各パラメータの周波数帯域を示した。レーリー・プレセット方程式による推定値は A-FRQ、C-FRQ よりも高い周波数帯域を示し、分布形状が大きく異なっていることが確認された。これは、キャビテーション起源の気泡による弾性波が、植物表皮に設置した AE センサで計測されるまでの間でエネルギーを失い、弾性波が減衰するためであると考えられる。

エネルギー E を持つ波動が、一波長の距離を進む間に失うエネルギーを ΔE とすると、材料の距離減衰特性を表す Q 値は(1)式で表される³⁾。

$$Q = 2\pi \frac{E}{\Delta E} \quad (1)$$

(1)式を用いて、AE 波伝播過程の減衰による周波数応答を算出した。レーリー・プレセット方程式による推定値に対し、この周波数応答を考慮したものを減衰理論値としている。

1ch, 2ch どちらにおいても、レーリー・プレセット方程式による推定周波数に対して減衰を考慮することにより、A-FRQ および C-FRQ のように明確なピークを持つ分布になることが確認できる。すなわち、植物の AE 計測によって得られる AE 波はキャビテーション起源の波動が減衰したものであると考えることができ、AE 法による水ストレス評価は可能であることが示唆された。

減衰理論値に関して、1ch においては A-FRQ に、2ch においては C-FRQ にピークが近づいているが、これはそれぞれに適用した分布形状が影響しているものと考えられる。減衰特性を定量化することで、キャビテーション起源の気泡運動すなわち水ストレスの実態を詳細に検知することが可能になると考えられる。

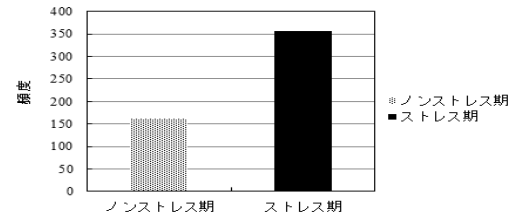


図-3 期間別突発型 AE 発生頻度

Frequency of occurrence of burst type AE.

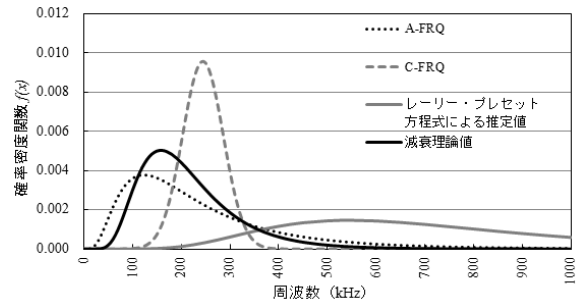


図-4 周波数分布の比較 (1ch)

Comparison of frequency distribution (1ch).

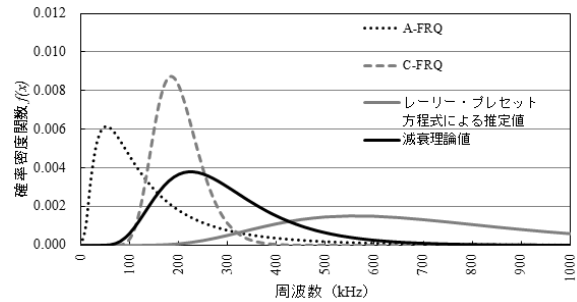


図-5 周波数分布の比較 (2ch)

Comparison of frequency distribution (2ch).

5. おわりに

本論では、水ストレス環境下で発生するキャビテーション現象に基づく AE を計測し、波動の減衰特性評価を検討した。検討の結果、AE 法による水ストレス評価は可能であることが示唆された。植物における波動の減衰特性をより精緻にモデル化することで、AE 法による水ストレス評価の精度向上が期待できる。

参考文献

- 1) 上野由樹, 鈴木哲也, 鈴木直也, 鈴木創三, 青木正雄: 弾性波計測に基づく植物体の水ストレス評価, 日本緑化学会誌, Vol. 37, No. 1, pp. 171-174, 2011.
- 2) Plesset, M. S. and A. Prosperetti: Bubble Dynamics and Cavitation, *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 9, pp. 145-185, 1977.
- 3) 大津政康: アコースティック・エミッションの特性と理論(第2版), 森北出版, pp. 160, 2005.