

# 音響計測を用いた植物の 水ストレス症状の検出に関する研究

Study on the detection of water stress symptoms of plant  
using acoustic measurement

中川 裕、杉本 恒美、佐野 元昭、  
白川 貴志、大平 武征、内川 千春

桐蔭横浜大学大学院工学研究科

(2015年3月20日 受理)

## 1. はじめに

近年、農業では作物の育成に使用する水を極力少なくする農法が検討されている<sup>[1]</sup>。その理由に世界的な水不足と作物の高付加価値化が挙げられる。前者は温暖化や砂漠化といった異常気象や我々の生活用水への利用が要因と考えられている。人口の増加に伴い、1人あたりに必要とされる水分量が足りなくなっているのが現状であり、今後さらに深刻化するといわれている。そのため、水資源の7割を使用している農業用水の節水は必須項目とされている。一方、作物の高付加価値化は果実の糖度を上げること等がある。給水を少なくし土壤水分を少ない状態で生育を行うと果実の糖度を顕著に高めることができるのは周知の事実である。しかしながら、給水を少なくする農法の管理は難しい。乾燥しすぎると尻腐れ等の病気を誘発したりする。土壤にテンシオメータや土壤水分を設置して土壤水分を管理する方法もあるが、植物根の伸長に

より吸水域は変化するため定点観測するだけでは管理することは難しいとされている。

そのため、植物体そのものの吸水需要を測定するため本研究は音波を用いた土壤の乾燥によって生じる植物の水ストレスを検出する研究を行っている<sup>[2,3]</sup>。検出方法は植物の葉や茎の弾性、重量、形状によって生じる固有振動数の経時変化により行う。音波振動を利用する利点として非接触かつ非破壊に計測が可能ながある。今回は葉の表面温度と固有振動数の比較を行った。一般的に土壤が乾燥している時には葉からの蒸散が減少し、葉の周辺の温度が上昇する。そのため、植物の水ストレスを推定する手法として葉の表面温度の測定が使用されている。

## 2. 音響計測を用いた植物の水ストレス症状の検出

### 2.1 実験セットアップ

今回報告する計測には生育状況（サイズ、

Yutaka NAKAGAWA, Tsuneyoshi SUGIMOTO, Motoaki SANO, Takashi SHIRAKAWA, Takeyuki OHDAIRA, Chiharu UCHIKAWA: Graduate school of engineering, Toin University of Yokohama, 1614 Kurogane-cho, Aoba-ku, Yokohama 225-8503, Japan.

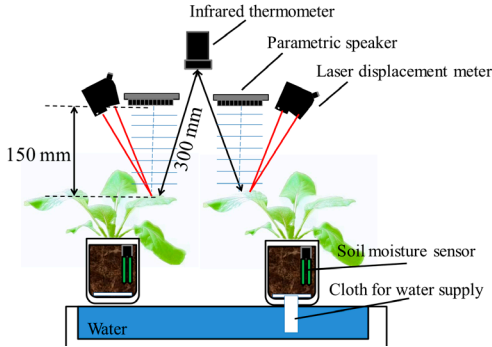


Fig.1 Experimental Setup.

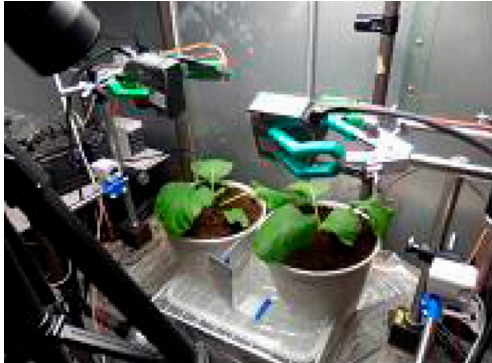


Fig.2 A photograph of the experiment environment.

齢、葉の数)の近い小松菜2株を用意して計測を行った。また、計測中に小松菜を育成するために使用した容器は7号鉢(容積:約2.8リットル)を使用した。計測開始時から水分を与える株と与えない株で葉の表面温度と葉や茎の固有振動数と体積含水率の計測を行った。土壌への給水是水受けから容器の底に設置した給水布を介して常時給水される構造になっている。Fig.1に実験セットアップを示し、Fig.2に実験風景の写真を示す。小松菜の上方約15 cmの位置にレーザー変位計(KEYENCE Corp, LK-G150)を設置し、同様に上方約15 cmに音源となるパラメトリックスピーカ(NIPPON CERAMIC Corp., LTD, AS101AW3PF1)を設置した。5分おきに音源から音波を照射、励振された葉及び茎の振動変位を計測する。計測された変位波形をフーリエ変換し、固有振動数を算出する。Fig.3に周波数解析結果を示す。照射する音波は40 kHz, 1 V<sub>pp</sub>, 4000 cycles (0.1 s)の正

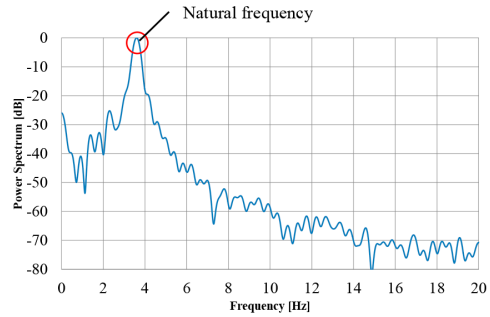


Fig.3 An example of frequency analysis result.

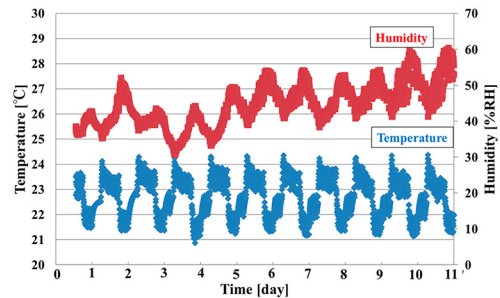


Fig.4 Temperature and humidity of a laboratory.

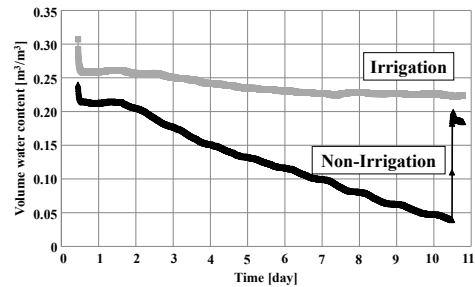


Fig.5 The experimental result of volume water content.

■: Irrigation, ▲: Non-irrigation

弦波とする。波形の取得時間は10 s、サンプリングタイムは10 msである。また、音響計測と並行して土壌の水分を水分センサ(DECAGON DEVICES INC, EC-5)、葉の表面温度を赤外線カメラ(ARTRAY Corp LTD, ARTCAM-320-THERMO)を用いて測定した。計測時の植物付近の照度は8000-9000 Luxである。Fig.4に計測場所の温度および湿度の経時変化を示す。温度は21-24 °C、湿度は30-60 %RHに推移した。

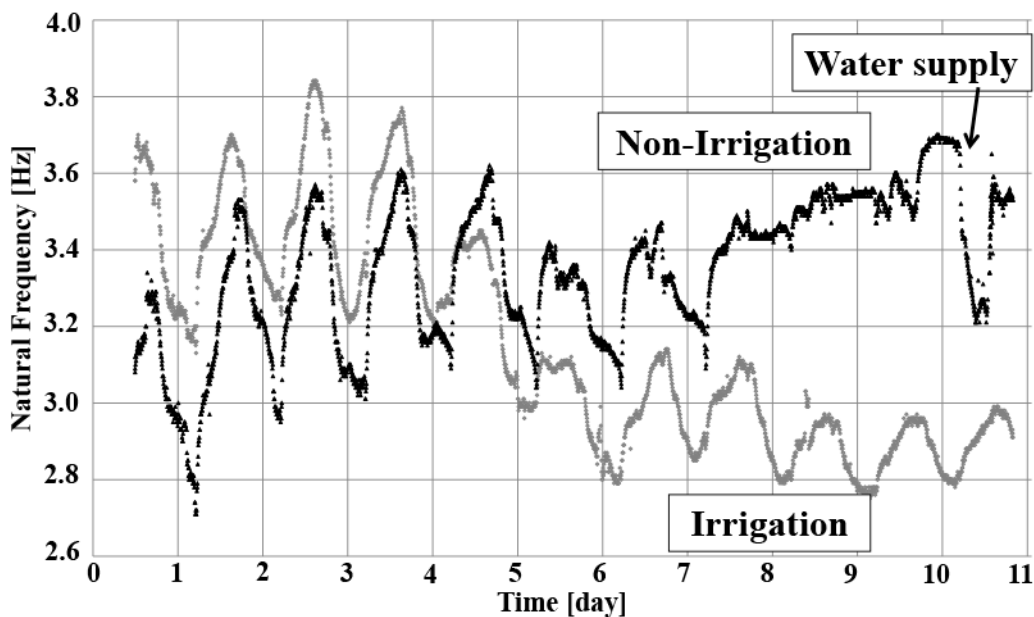


Fig.6 Time-dependent change of the natural frequencies of the leaf and stem.  
 ■: Irrigation, ▲: Non-irrigation

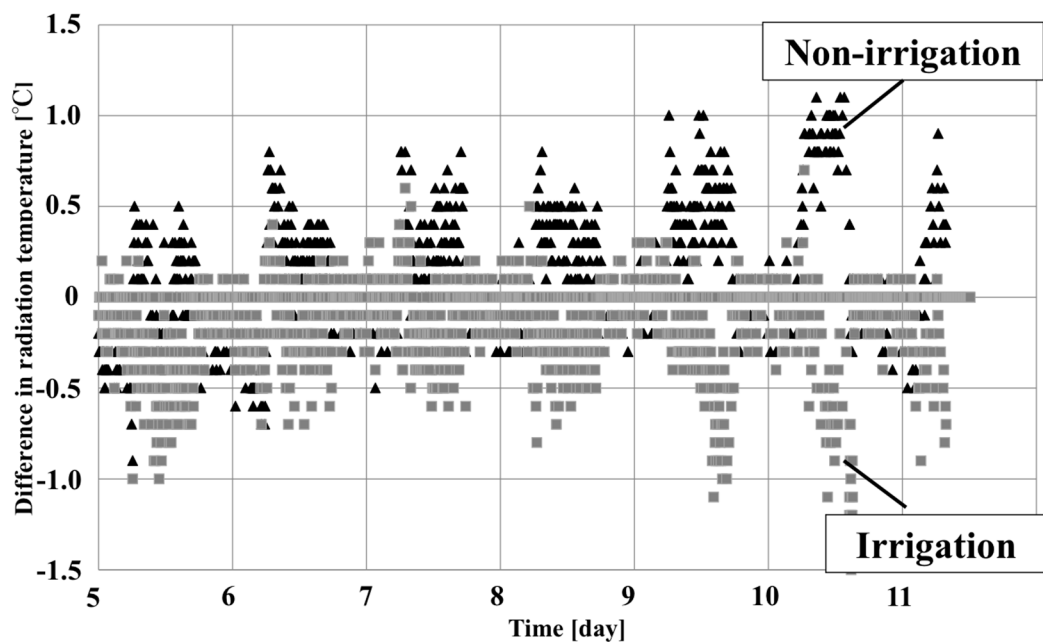


Fig.7 Time-dependent change of the difference in radiation temperature of leaves.  
 ■: Irrigation, ▲: Non-irrigation

## 2.2 実験結果

Fig.5 に土壌内部体積含水率の経時変化を示す。Fig.5 より 2 株ともに減少傾向にある。常時給水している株の体積含水率が減少した

要因は給水速度よりも植物の吸水と土壌表面からの蒸発速度が速かったのでは考えられる。Fig.6 に葉と茎の固有振動数の経時変化を示す。常時給水された株と給水されなかった株共に 6 日目まで 1 日の中で周期的な変動をし

ていることが確認できる。しかし、7日目以降給水がされない株の固有振動数には周期変動が確認できなくなった。一方、常時給水されている株は7日目以降も固有振動数の周期変動が確認できる。葉と茎の固有振動数を決めるファクターには茎の長さや茎幅、茎のヤング率、葉の重さが挙げられる。今回確認された周期変動はこれらの値のバランスにより発生しているものと考えられる。給水の有無により土壌の水分量に差が生じ、そのことで植物体内の水分量や硬さや成長量に差が生じ Fig.6 のような結果になったのではと思われる。

つまり、固有振動数の周期変動が確認できなくなるタイミングで給水を行うことで育成に必要なとする最低限の水で農業が可能となるかもしれない。実験開始10日目に給水がされなかった株の葉に萎れが確認された。この時、固有振動数が急激に低下した。これは目視でも確認したが葉と同様に茎も萎れていて、茎の弾性力の低下が固有振動数を低下させたものと思われる。Fig.7 に葉の表面温度の経時変化を示す。葉の表面温度は周囲の気温の変化に影響されやすいため、葉の表面温度から気温の変化の差分を計算した。固有振動数の周期変動が確認できなくなった7日目以降、葉の表面温度の上昇が確認された。これは植物が土壌からの吸水が十分に行えないために気孔を閉じ、葉からの蒸散を行わなくなったことが影響している。この結果から葉と茎の振動から植物の水ストレスを推定出来るのではと考えられる。

### 3. まとめと今後の課題

今回、育成中の小松菜に給水の有無による差をつくり音響計測および葉の表面温度を計測した。その結果、土壌水分が低下した時に音響計測による取得した葉と茎の固有振動数と葉の表面温度が同様のタイミングに変化が生じた。この結果から音響計測により植物の水ストレスの検出が可能である可能性が確認

された。今後は計測される固有振動数を元に植物の給水を行いながら育成をした時に、使用した水分量および収穫される作物の量について検討していく予定である。

#### 謝辞

この研究は JST CREST の助成をうけて行われた研究である。

#### 【参考文献】

- [1] M. Ohaba, *et.al.*: Proc. Int. Conf. Sustainable Agriculture for Food Energy and Industry (ICSA2008), pp.391-394 (2008)
- [2] M. Sano, *et.al.*: J. Appl. Phys. 52 (2013) 07HC13
- [3] T. Sugimoto, *et.al.*: Proc. Int. Symp. Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB), pp.625-630, (2014.05)