

論文

小松菜を定植した培養土中の
音波伝搬速度と体積含水率の検討 (II)Study on the relation between sound wave propagation velocity and
volume water content in the culture soil where Komatsuna was planted (II)大平 武征¹・杉本 恒美*・佐野 元昭²・
白川 貴志¹・中川 裕¹・内川 千春¹

桐蔭横浜大学 大学院工学研究科

(2018年3月17日 受理)

I. はじめに

近年、地球規模の水不足を背景に農作物の最適な灌水について、幾つかの節水型農業の研究報告が見られる。農作物の栽培は土壌水分の状態や灌水のタイミングを把握することが大切である。現在、土壌水分の計測には誘電率水分センサやテンシオメータなどが用いられているが、個々の水分センサは検知範囲の制約から多くの水分センサを埋設する必要がある。そのような中、著者らは音波伝搬速度が土壌水分に影響される可能性があることに着目し、音波伝搬速度が水分分布計測に適していることを報告してきた¹⁻⁵⁾。そこで、本研究は小松菜栽培の培養土で、灌水停止を継続し目視による「しおれ」状態を作り出し、培養土中の音波伝搬速度変化から土壌水分変化の推測が可能かどうかを目的とし実験を行ったので報告する。

II. 実験方法

1. 実験槽と測定機器

図1は小松菜を培養土に植え表1の灌水操作で、14日目の灌水停止時の写真である。各計測機器と共に恒温室(気温約22℃、相対湿度約55%)に設置している。

表1 灌水操作

日目	記 事
0	実験開始
3	灌水開始
14	灌水停止
27	しおれ兆候
31	完全しおれ



図1 Photograph of the experimental setup tank.

* SUGIMOTO Tsuneyoshi: Professor, Graduate School of Engineering, Toin University of Yokohama, 1614 Kurogane-cho, Aoba-ku, Yokohama 225-8503, Japan

¹ OHDAIRA Takeyuki, SHIRAKAWA Takashi, NAKAGAWA Yutaka and UCHIKAWA Chiharu: Researcher, Graduate School of Engineering, Toin University of Yokohama² SANO Motoaki: Professor, Graduate School of Engineering; Faculty of Biomedical Engineering, Toin University of Yokohama

図2は各計測センサのセットアップを示す。音波音源は2個の超磁歪振動子をポリエチレンフィルムを介しアルミ板に接続し、個々の振動子は土壌表面から深さ約5.5cmと10.5cm位置に取り付けている。音波源制御の関数発生器(Tektronix Inc., FG)は正弦波350Hz、5cycle、Vpp: 5V、サンプリングタイム8min、トリガー信号1sを設定、受信波はフィルターアンプを介しロガー(グラフィック社、GL-900)へ接続、トリガー信号より10%早く測定開始するようにサブトリガー信号を設定している。受信器は2個の加速度センサを組み込み土壌表面から深さ約5.5cm(Ac1)と約10.5cm(Ac2)の音波伝搬ラインに埋設している。また、体積含水率の計測は4個の誘電率水分センサを土壌表面から深さ約5.5cm(ch1)、10.5cm(ch2)、13cm(左ch3、右ch4)に埋設し、実験槽は下部灌水槽の給水布から毛細管作用で底面灌水(h=3cm)を行う構造になっている。なお、音波伝搬速度は音波源と受信器との伝搬距離(約14cm)を初波受信波の到達時間で除し計算する。

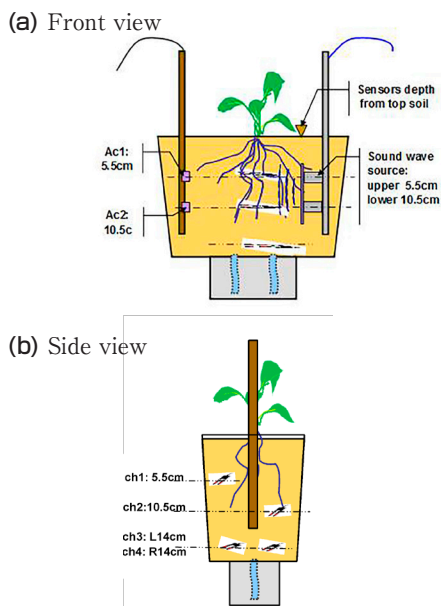


図2 Experimental setup of the sensors. (a) Front view, (b) Side view.

2. 槽底面灌水と給水布灌水

図3は給水布の毛細管現象による灌水の系統フロー図で、恒温室床を基準面とし水の流れは、水頭が一番高い給水タンク①を精密電子秤②に載せ、フロート式液面制御筒③で灌水槽④の液面を一定に保ち、給水布の毛細管作用で実験槽に底面灌水をする。また、給水タンク①の減水量(g)は精密電子秤②の付置ロガーで灌水量として記録する。なお、太陽光を模擬した蛍光灯は照度約8000Lux、点灯時間は6:00から18:00である。

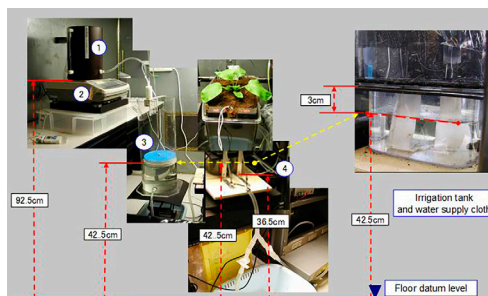


図3 Diagram of irrigation due to the capillary phenomenon. ① water supply tank, ② precision electronic balance, ③ float type liquid-level-control cylindrical tank, ④ irrigation tank.

III. 実験結果

1. 土壌体積含水率

図4は4水分センサの体積含水率(VWC)を示し、表1の灌水操作で14日目の灌水停止による変化が見られる。

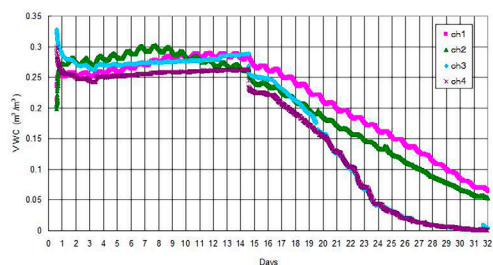


図4 Change of volume water content.

図5は埋設深さ5.5cm(ch1)と10.5cm(ch2)の水分センサのVWCを示し、音波計測センサAc1とAc2にそれぞれ対応させて

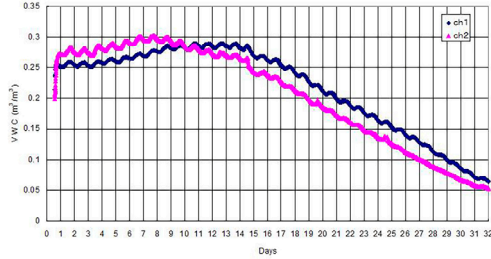


図5 Change of volume water content of moisture sensors in soil from ch1 to ch2 moisture sensors.

いる。実験開始から ch1、ch2 は上下動の変化を示し、太陽光を模擬した蛍光灯 ON-OFF (6:00-18:00) による日周変動の変化を捉えていることが分かる。

2. 音波伝搬速度

図6は計測波形で、FG 発信波①、受信波 Ac1 ②、Ac2 ③を示し、図7に音波受信センサの埋設深さ 5.5cm (Ac1) と

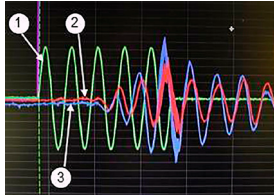


図6 The measurement wave pattern.

10.5cm (Ac2) における音波伝搬速度 (音速) を示す。実験初期から両者は図5のVWCと同様に、太陽光を模擬した蛍光灯 ON-OFF (6:00-18:00) による日周変動が見られる。次に、表1の灌水操作で示す14日目の灌水停止から31日目の目視による完全「しおれ」までの音速とVWCの関係を、計測センサ Ac1-ch1 と Ac2-ch2 について図8

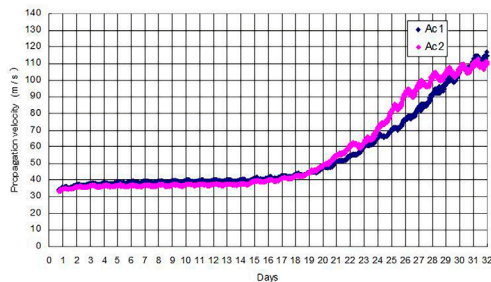
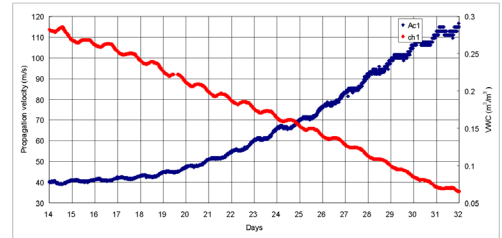


図7 Change of the propagation velocity of the sound.

は負の相関関係を示す事が分かる。14日目の灌水停止では、図8(a)の音速は約40m/s、VWCは約0.28m³/m³、図8(b)では音速は約38m/s、VWCは約0.26m³/m³を示す。その後、27日目の「しおれ」兆候では、図8(a)の音速は約84m/s、VWCは約0.13m³/m³、図8(b)では音速は約98m/s、VWCは約0.1m³/m³を示し、31日目の完全「しおれ」では、図8(a)の音速は約112m/s、VWCは約0.07m³/m³、図8(b)では音速は約110m/s、VWCは約0.06m³/m³を示す。

(a)



(b)

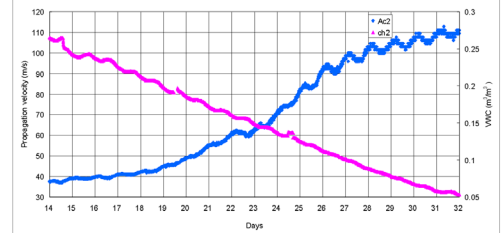


図8 The propagation velocity of sound and volume water content, (a) acceleration sensor Ac1 and moisture sensor ch1, (b) acceleration sensor Ac2 and moisture sensor ch2.

3. 灌水量の変化

図9は実験槽に底面灌水を行った灌水量変

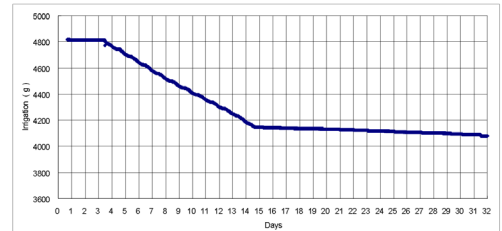


図9 The quantity of negative pressure difference irrigation.

化を示す。表1の灌水操作で、14日目の灌水停止から31日目の完全「しおれ」までの灌水量変化を見ることができる。図中、14日目の灌水停止から31日目に掛け、灌水量が僅かに減少を示しているのは、灌水システムの液面制御塔における自然蒸発の影響と推測する。

IV. 結論と今後の課題

小松菜栽培中の培養土内の音波伝搬速度の変化から、土壤水分の変化が推測できるかどうかを目的とした実験を行った。実験の結果より、培養土内の根圏における音波伝搬速度の変化より土壤水分変化を把握できることが明らかになった。また、音波伝搬速度と水分センサによる体積含水率の変化を比較検討した結果から、両者は負の相関関係があることを確認した。

今後は、レーザ変位計を用いた葉の振動解析^{6,7)}から植物の健康状態を推測する研究と連携することで、植物の「水ストレス」から「しおれ」状態に至る音波伝搬速度の変化から根圏の水分分布を把握し、植物が水分要求をする時期と最適な灌水管理を見出して行く予定である。

謝辞

*本研究は、JSPS 科研費 15K07681 の助成を受けて実施されたものである。

【参考文献】

1) Tsuneyoshi Sugimoto, Yutaka Nakagawa, Takashi Shirakawa, Motoaki Sano, Motoyoshi Ohaba, and Sakae Shibusawa: Study on Water Distribution Imaging in the Sand Using Propagation Velocity of Sound with Scanning Laser Doppler Vibrometer, *Jpn. J. Appl. Phys.* 52, 07HC04,

2013.

- 2) 中川裕・杉本恒美：音波振動を用いた土壌中の水分分布測定に関する基礎研究，*桐蔭論叢*，24，pp.235-238，2011.
- 3) 中川裕・杉本恒美：土壌中の水分分布計測に関する基礎研究——音波振動と土壤水分センサを用いた計測に関する検討——，*桐蔭論叢*，26，pp.51-56，2012.
- 4) 中川裕・杉本恒美：音波振動を用いた土壌水分分布計測に関する検討——土壌水分分布の音響映像化法に関する検討——，*桐蔭論叢*，28，pp.231-235，2013.
- 5) 中川裕・杉本恒美：植物栽培中の培養土における体積含水率と伝搬音速の関係に関する検討，*桐蔭論叢*，30，pp.193-194，2014.
- 6) Motoaki Sano, Yutaka Nakagawa, Tsuneyoshi Sugimoto, Takashi Shirakawa, Kaoru Yamagishi, Toshiaki Sugihara, Motoyoshi Ohaba, and Sakae Shibusawa: Estimation of Water Stress of Plant by Vibration Measurement of Leaf using Acoustic Radiation Force, *Acoust. Sci. & Tech.*, 36, pp.248-253, 2015.
- 7) Motoaki Sano, Tsuneyoshi Sugimoto, Hiroshi Hosoya, Motoyoshi Ohaba, and Sakae Shibusawa: Basic Study on Estimating Water Stress of a Plant Using Vibration Measurement of Leaf, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 52, 07HC13, 2013.