

## 論文

## 縦挿し型送受信機を用いた土壌中の伝搬速度計測(IV)

Propagation velocity in soil using Handheld Sound Source and Sensors (IV)

白川 貴志\*・大平 武征<sup>1</sup>・内川 千春<sup>1</sup>・  
中川 裕<sup>1</sup>・佐野 元昭<sup>2</sup>・杉本 恒美<sup>1</sup>

桐蔭横浜大学 大学院工学研究科

(2019年3月16日 受理)

## I. はじめに

地球温暖化などによる発展途上国における水不足問題、東日本大震災による安全な水資源に関する問題が表面化し、人類の水使用において大きな割合を占めている農業用水の利用効率について関心が高まっている。

この問題を解決するためには、節水灌漑(点滴灌漑, 負圧差灌漑)による水分供給が最適に行われているかを判断する指標として植物根圏土壌の体積含水率把握が必要となる。しかしながら、既存の土壌含水率計測は電気抵抗センサによるピンポイント計測であるために、植物根圏、また広い畝の正確な体積含水率を求めるためには多くのセンサが必要となり実用的ではない。

点滴灌漑や負圧差灌漑により植物根圏に給水が行われると体積含水率の変化が土壌中に生じる。この領域を挟みこむ様に縦挿し送信機と受信機とを土中に挿入し、土壌中で音波を伝搬させる。計測された伝搬時間より土壌中の体積含水率が推定され、植物体が要求す

る水量給水の調節を適切に行うことが可能となる。

以前の報告では短時間に土壌内含水率を変化させながら、複数の振動子、加速度センサにより構築した可搬型の縦挿し送受信機を用いて土壌中を伝搬する音波を計測、この音速による培養土中の体積含水率推定結果を報告した<sup>1)</sup>。今回は伝搬経路中に植物体を定植し、含水率を変化させながら伝搬速度変化を算出した結果を報告する。

## II. 地中縦挿し型送受信機について

実験構想図を図1に示す。植物根圏に点滴、もしくは地中灌漑を行う状況を想定し、根圏を挟み込む形で地中縦挿し型送信機と受信機を設置、伝搬速度より根圏水分分布推定を行うものである。

製作した地中縦挿し型送信機及び受信機の概観写真を図2に示す。送信機筐体中央ラインには5つの円形孔を開け、それぞれに小型超磁歪振動子(OPT Co. Ltd, GPC-1)が内

\* SHIRAKAWA Takashi: Researcher, Graduate School of Engineering, Toin University of Yokohama, 1614 Kurogane-cho, Aoba-ku, Yokohama 225-8503, Japan

<sup>1</sup> UCHIKAWA Chiharu, OHDAIRA Takeyuki and NAKAGAWA Yutaka: Researcher, SUGIMOTO Tsuneyoshi: Professor, Graduate School of Engineering, Toin University of Yokohama

<sup>2</sup> SANO Motoaki: Professor, Graduate School of Engineering; Faculty of Biomedical Engineering, Toin University of Yokohama

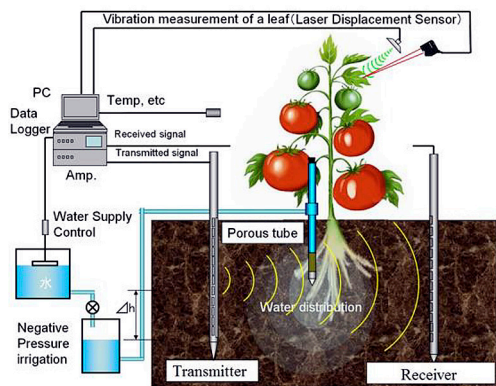


図1 実験構想図

### Ⅲ. 植物定植土壌における伝搬音速の計測

図3に示すように、水槽土壌に二株の小松菜を定植した。小松菜の生育に伴い土壌内含水率は低下していく。2月かけて土壌内の含水率を徐々に低下させながら根圏を通る伝搬ルートと、根圏を通らない伝搬ルートにおいて伝搬音速を計測した。

図4に水槽上面図を示す。伝搬距離は23 cmとなっており水槽中央の小松菜二株を挟むように送信機と受信機が設置してある。

図5に電気抵抗センサによる土壌含水率変

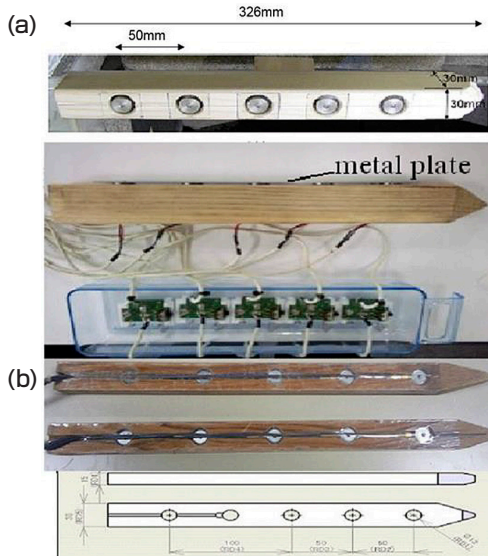


図2 縦挿し型送受信機

(a) transmitter (b) receiver

蔵されている。素材には針葉樹材を用いている。それぞれの振動子先端部は、送信機表面の金属板に固定され同位相で振動する。受信機管体は全長 35 cm、素材には広葉樹材を用いている。管体中央部に円形孔が設けてあり、加速度センサ (ONO SOKKI, NP-3110, 3412) を内蔵、振動膜としては PP シートが木材表面に貼付してあり、加速度センサとシートとは接着されているが、管体本体とは接触していない構造となっている。



図3 土壌槽に定植した小松菜

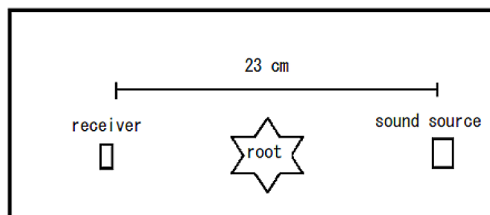


図4 水槽上面図

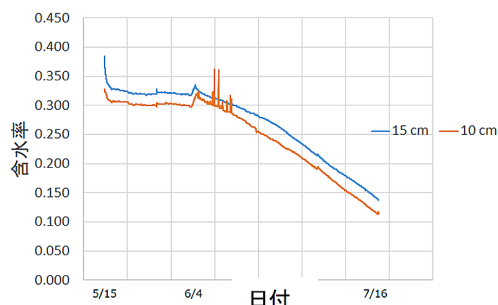


図5 含水率変化 (電気抵抗センサによる)

化を示す。6/4の小松菜定植後、含水率は30%⇒11~14%に低下した。

図6、7、8に相関を用いた波形処理例を示す。受信波形(上)、送信波形(下)ともに、取得10回平均、波形の初頭部の切り出しを行った上で相関処理を行い、伝搬時間差を算出した。

送信機からは平面波が発振されるのに対して、受信機内部の各加速度センサは5、10、

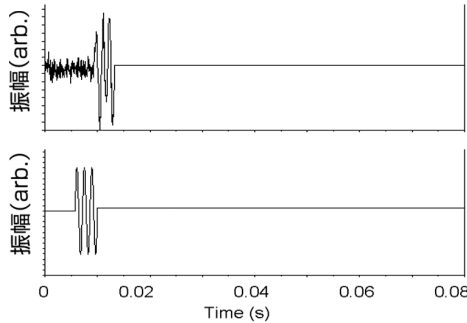


図6 5/26 送信周波数700 Hzにおける  
上：受信波形 下：送信波形  
(深度25 cm 根有り経路 伝搬距離23 cm)

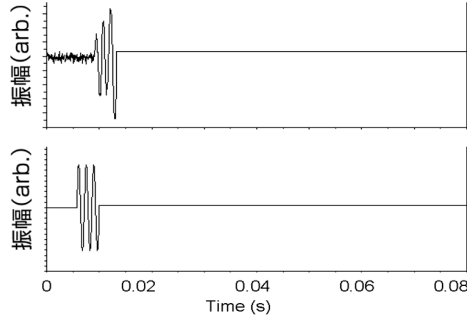


図7 6/18 送信周波数700 Hzにおける  
上：受信波形 下：送信波形  
(深度25 cm 根有り経路 伝搬距離23 cm)

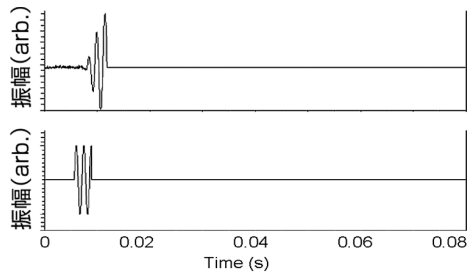


図8 7/16 送信周波数700 Hzにおける  
上：受信波形 下：送信波形  
(深度25 cm 根有り経路 伝搬距離23 cm)

15、20、25 cm 深度の受信波形を個別に受信できる。

送信波はサイン波形5波、送信間隔2秒、周波数500、600、700、800、900、1000 Hz、加算平均10回にて土壌内伝搬波形を取得した。

相関波形処理により算出された伝搬時間と伝搬距離(23 cm)より、伝搬音速を求めると、土壌の乾燥に伴い音速の上昇が見られた。

5/26 伝搬音速66.1 m/s

6/18 伝搬音速70.9 m/s

7/16 伝搬音速91.9 m/s

根圏が存在する条件下においても、図5に示した電気抵抗センサによる含水率の低下に対して伝搬音速が上昇していく、という既知のデータとの一致をみせた。

また、図9に7/16における送信周波数500、600、700 Hzでの深度ごとの伝搬音速を示す。深度に従って土壌の圧力、含水率の偏りによるわずかな音速上昇を見せているが、既存のデータとも一致する安定した結果となっている。

図10に7/16における送信周波数800、

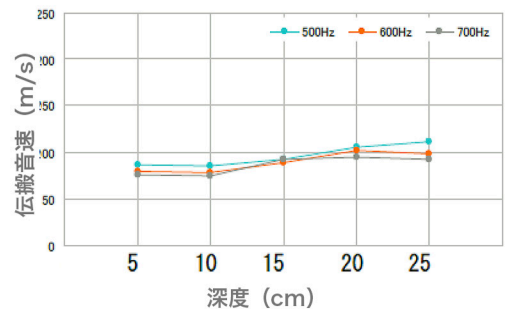


図9 送信周波数500、600、700 Hzにおける  
深度ごとの伝搬音速

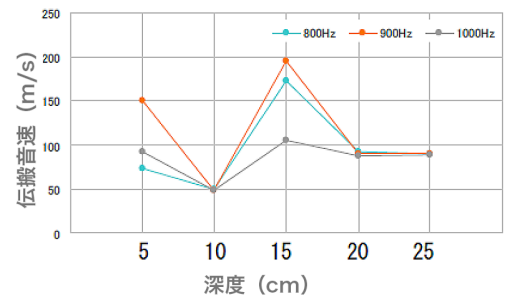


図10 送信周波数800、900、1000 Hzにおける  
深度ごとの伝搬音速

900、1000 Hz での深度ごとの伝搬音速を示す。この送信帯域では S/N 比の低下により安定した結果とはなっていない。

#### IV. まとめ

植物育成中の土壌において含水率が徐々に低下すると、伝搬音速が上昇するという今までの研究結果に沿った関係を把握することができた。

上記の関係性を利用できると、作製した土壌縦挿しセンサによって育成植物根圏土壌の伝搬音速値を計測することによって根圏全体としての土壌含水率を推測することで、植物の育成にとって適切な給水タイミングを把握できることとなる。

#### 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) 白川 他, 縦挿し型送受信機を用いた土壌中の伝搬速度計測 (3), 桐蔭論叢 38, pp.127-130, 2018.6.
- 2) 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.
- 3) 白川貴志, 杉本恒美, 中川裕, 佐野元昭, 大幅元吉, 洪澤榮: 音波振動による土壌中の水分分布計測に関する研究—地中刺突型音波伝播システムの構築—, 桐蔭論叢, 26, pp.37-42, 2012.
- 4) 白川貴志, 大平武征, 中川裕, 佐野元昭,

杉本恒美: 縦挿し型送受信機を用いた培養土中の体積含水率推定に関する検討, 桐蔭論叢, 32, pp.197-200, 2015.

- 5) 白川貴志, 大平武征, 中川裕, 佐野元昭, 杉本恒美: 縦挿し型送受信機を用いた土壌中の伝搬速度計測, 桐蔭論叢, 34, pp.135-138, 2016.
- 6) 白川貴志, 大平武征, 中川裕, 佐野元昭, 杉本恒美: 植物栽培中の培養土における伝搬音速計測に関する検討 (2), 桐蔭論叢, 36, pp.233-236, 2017.