

# 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

Study about the Relation between the Volume Water Content and  
Propagation Velocity in the Culture Soil under Plant Cultivation

中川 裕・杉本 恒美

桐蔭横浜大学大学院工学研究科

(2014年3月20日 受理)

## 1. はじめに

近年、頻発している津波や温暖化、砂漠化といった異常気象は多岐にわたり我々の生活に問題を起こしている。その一つに水問題がある。人口が増加する一方、砂漠化や降水量の減少により1人あたりに必要な水分量が着実に少なくなっているのが現状である。また、この傾向は今後さらに深刻化すると報告されている。そのため、世界各国では水資源の有効利用について議論されている。議事内容の1つに水資源の使用量7割を占める農業用水の節水の必要性が挙げられた。近年、農業用水の利用効率を上げるため検討されている方法として負圧差灌水と呼ばれる灌水方法がある<sup>[1]</sup>。従来の地表点滴灌水で節水をし、より良い農作物を作るには、栽培者が常に灌水、栄養状態に気を配りながら栽培しているため篤農家のような経験が豊富な人でないと栽培の成功は難しい。負圧差灌水方式は土壤の水分量を一定に保つ性質を持つため、水分供給システムを設置した後、栽培者は気を配る必要がない。また、植物が吸水した量だけ水分を供給するため、無駄な農業用水の排水を極力抑えられるというメリットもある。地表点

滴灌水の場合と比較したところ、成長量1.5倍、給水量1/3という結果がすでに得られている。しかしながら、負圧差灌水方式は土壤内部から灌水するため土壤中の水分分布状況を正確には把握できていない。そのため、最適な水分供給制御が行えていないと考えられる。土壤水分を把握する方法はいくつか存在するがセンサを根圏近傍に挿入し計測する方法である。これらの計測方法は計測範囲がセンサ近傍であること、多数のセンサが必要となること、センサの抜き差しにより植物根を傷つける可能性があるなどの問題が挙げられる。

そのため、本研究は植物の根圏領域における水分分布を音波振動を用いて計測し、高度節水化のための灌水・制御システムの構築を最終目的としている。音波振動を利用する利点として計測範囲の広さがある。植物根圏を挟むように計測することでその間の水分状況を推定出来、植物根を傷つけずに計測できる。また、土壤に挿入する計測器の個数が従来の方法に比べ少なくできることが挙げられる。過去の我々の研究では砂槽における実験では時系列で変化する水分分布を映像化できることが確認されている<sup>[2,3]</sup>。また、2009年に発

表された Zhiqu Lu らによる研究論文においても土壌の水分状況と伝搬音速値との関係は検証されている<sup>[4]</sup>。

## 2. 音波振動を用いた土壌水分の長期間計測

### 2.1 実験セットアップ

Fig.1 に実験セットアップ図を示す。この実験では三層からなる小型測定容器内 ( $15 \times 11 \times 25.5\text{cm}^3$ ) において植物 (小松菜) を栽培し、栽培時における土壌水分の変化を音

波振動の伝搬音速と比較を行った。この時使用した土壌は、市販の培養土を 2mm のふるいにかけてのものである。土壌の伝搬音速の計測にはスキヤニング振動計 (SLDV, Polytec Corp, PSV400H4) と小型超磁歪振動子 (NDS Corp, GPC-1) を使用し、次に示す手順で計測した。はじめに、容器にはそれとは材質の異なるポリプロピレンフィルム (50 $\mu\text{m}$ ) が貼られた音響窓が容器の前面・後面にある。後面の音響窓に振動子をジャッキを用いて固定し、土壌に振動を発生させる。Fig.2 に容器の音響窓および振動子の固定状況を示す。土

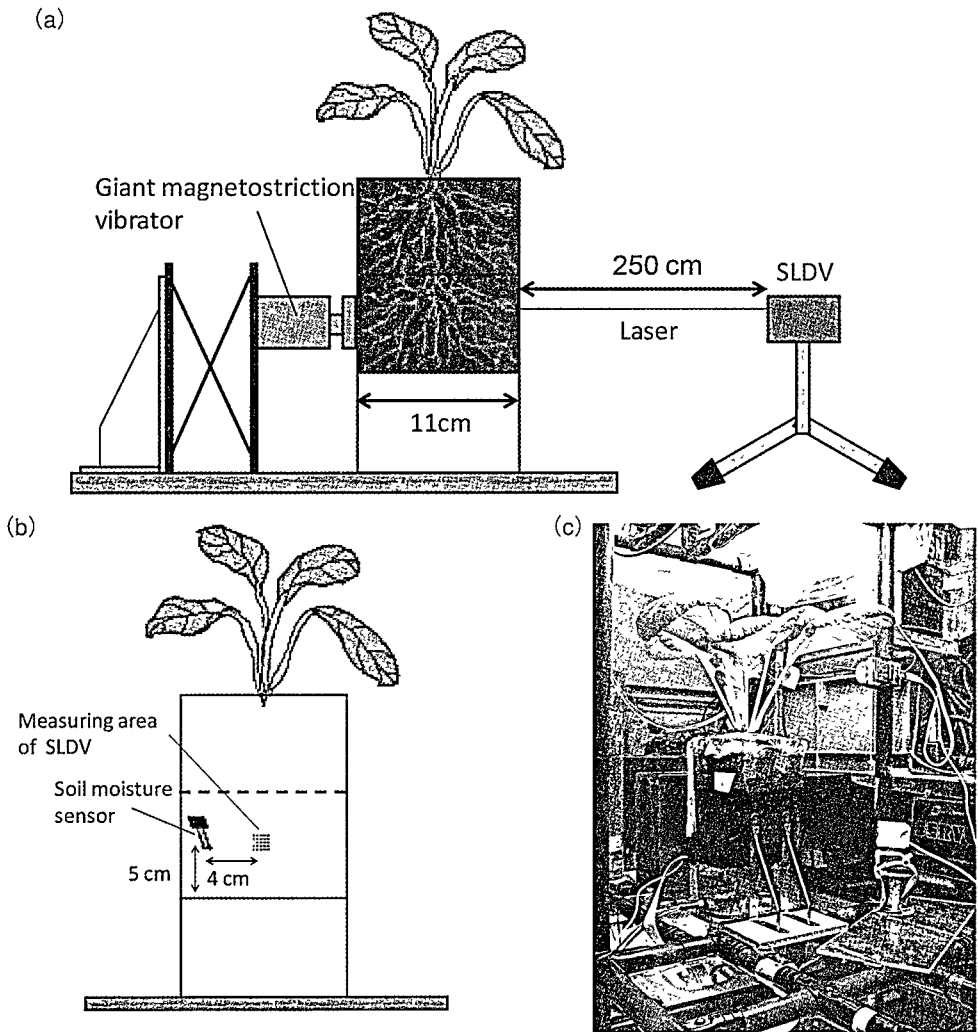


Fig.1 Experimental Setup

(a) Side view, (b) Front view, (c) Photograph of the experimental setup

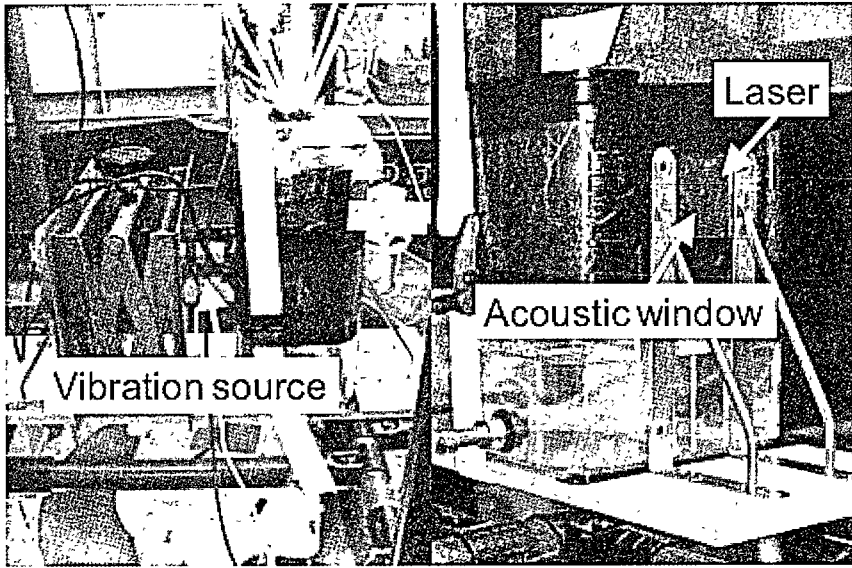


Fig.2 Installation position of the transducer and the acoustic window

壤を伝搬した振動は前面の音響窓と一体となって振動し、その振動をSLDVを用いて計測する。振動を発生させた時間と受信した時間から伝搬時間を算出し、土壌中の伝搬音速を算出する。振動計測に使用した音波は正弦波、1kHz, 5cyclesのバースト波を使用した。伝搬距離は11cmとする。また、振動計測を行う測定場所の近傍に土壌の体積含水率を測定する土壌水分センサ (Decagon devices Inc, EC-5) を設置し、並行して計測を行うものとする。伝搬音速と体積含水率の計測は5分間隔で10日間連続して行った。土壌内部の植物根は計測開始時、容器上段にのみ存在し時間経過と共に各種計測を行うエリアに成長していく過程で計測を行った。この状況は容器の上段のみで植物を栽培し、計測直前に測定を行う中段の容器と結合することで再現した。目的は植物の成長により土壌水分の変化の割合が変化することが想定され、その変化を観測できるのか検討するためである。

## 2.2 底面灌水による灌水方法

この実験において使用した灌水システムをFig.3に示す。このシステムは測定容器の土壌がある中段から水が張られた下段に給

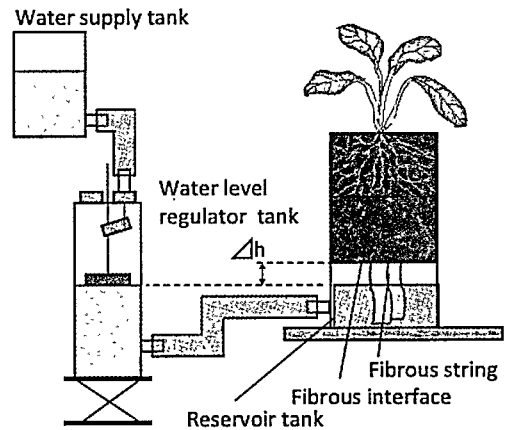


Fig.3 Meniscus irrigation system using the water supply cloth

水布 (Toyobo Corp LTD, Absorbing water sheet. A-1) を垂らし土壌に給水を行う方法である。また、測定容器の中段の底から下段の水面までの高さを $\Delta h$ と表記する。水面の高さは水位調整タンクのプロートにより、一定の水位に保つ構造になっている。今回の実験では給水をしない期間、給水をする期間 ( $\Delta h=3\text{cm}$ , 3時間給水) を設け、交互に行うサ

イクルで土壌内部の水分状況を変化させた。測定上の環境条件および給水を行った日時を以下に示す。

- (1) 土壌の表面には蒸散を防ぐためにフィルムで覆い、空気に触れないように配慮した。
- (2) 測定容器の上方にある照明の点灯・消灯時間はそれぞれ7:00、18:00とする。
- (3) 実験室内の空調の温度設定は暖房 25℃とする。
- (4) 計測開始日より3日目と6日目に給水を行い、給水時間は3時間である。また、それ以外の時間は無給水とした。

### 2.3 培養土の伝搬音速と体積含水率の関係

Fig.4に今回の計測により取得された培養土中の伝搬音速と体積含水率の関係を示す。Fig.4におけるグラフ上方の矩形波は照明のON/OFFする時間帯を示す。Fig.4より時間経過と共に土壌水分が低下していることが体積含水率の値から確認できる。一方で、伝搬音速は上昇傾向が見受けられる。また、3日目に給水を行ったことによりそれぞれの値は短期間に変化する傾向がほぼ同じ時間帯に確認できる。今回の計測結果において興味深い点として、1つ目に照明がON/OFFすることによりそれぞれの値の傾きが変動しているこ

とである。ONの時は変化が大きく、OFFの時は小さいのである。これは植物周辺の光量が増加したことにより、植物の蒸散量に差が生じたことによるものと思われる。蒸散量が増加することにより、植物が土壌から吸水する量が増加したと考察できる。2つ目は時間経過と共に時間あたりの各値の変化量が増加していることである。例として、1日目から3日目の期間に対して7日目から9日目の期間の変化量は明らかな差が生じている。この現象の要因として、植物（根）の成長が挙げられる。Fig.5は容器側面から撮影した画像である。この画像から測定しているエリアの植物根の割合が増加していることが見受けられる。すなわち、植物が成長し土壌内部における根の表面積が増大、それに伴って土壌から吸水される水分量が増加したのではと思われる。3つ目の点としてFig.6に示すように土壌の伝搬音速と体積含水率の関係には負の相関があることである。この結果から、土壌の伝搬音速を計測することにより土壌水分を推定できるのではと思われる。また、Zhiqu Luらの研究において土壌における伝搬音速と土壌水分の関係についてこの実験と同様の傾向があることが確認されている<sup>[4]</sup>。しかしながら、植物が栽培されている土壌の変化を観測した例は他では示されていない。

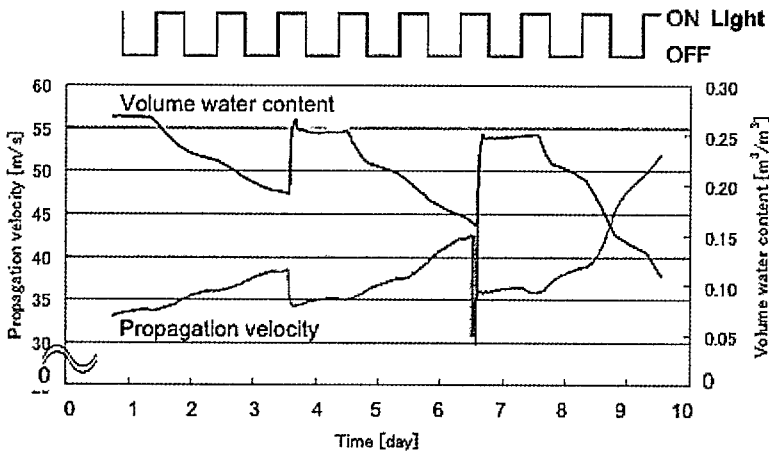


Fig.4 The experimental result of propagation velocity of sound and volume water content  
 ■ : Volume water content, □ : Propagation velocity of sound

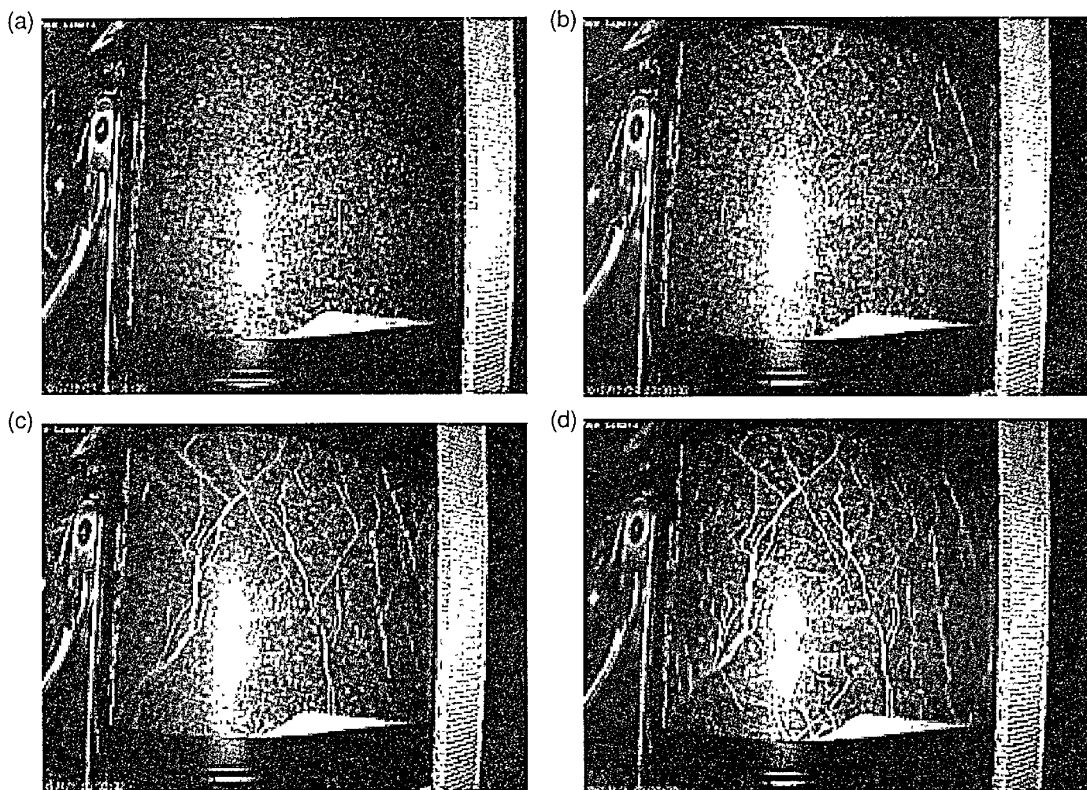


Fig.5 The photograph of plant roots in the measuring container  
(a) 1 day, (b) 3 day, (c) 6 day, (d) 9 day

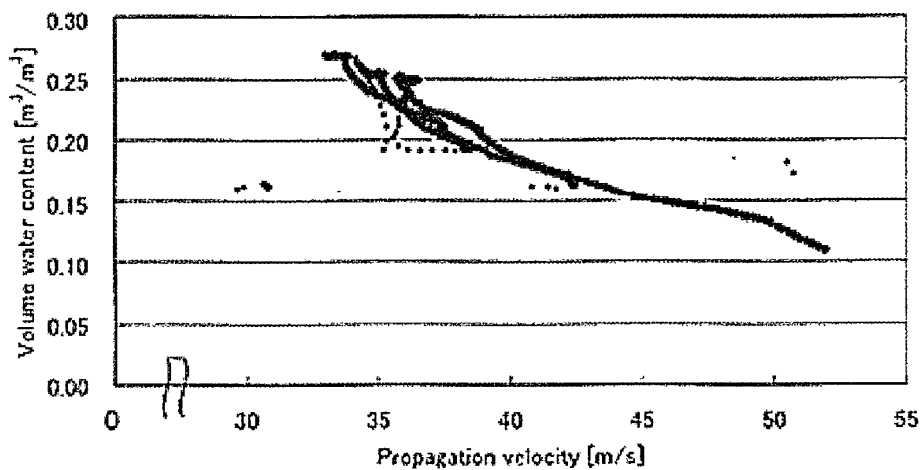


Fig.6 The relationship between the propagation velocity of sound and volume water content

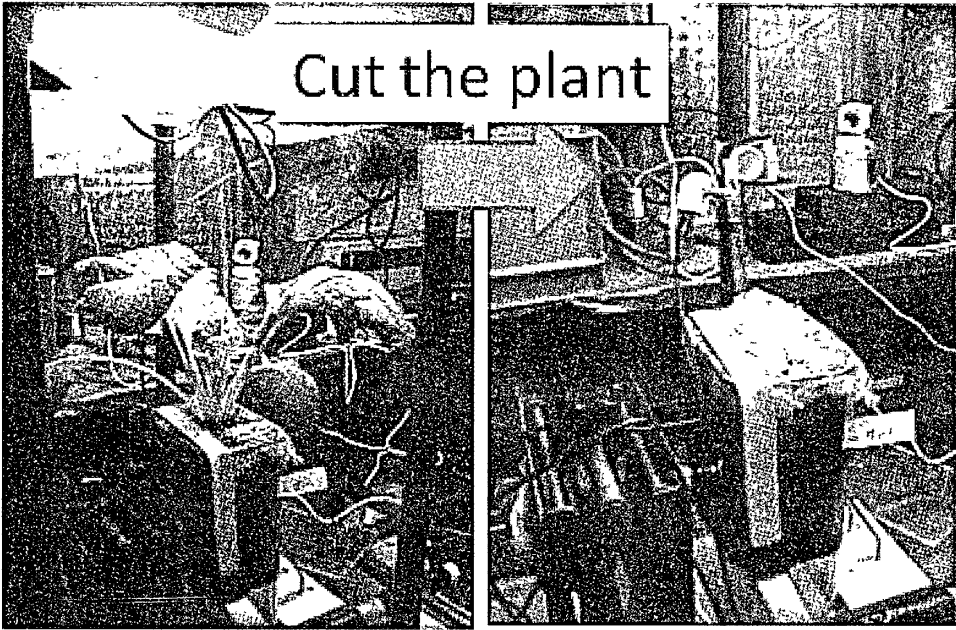


Fig.7 Photos before and after cutting the plant

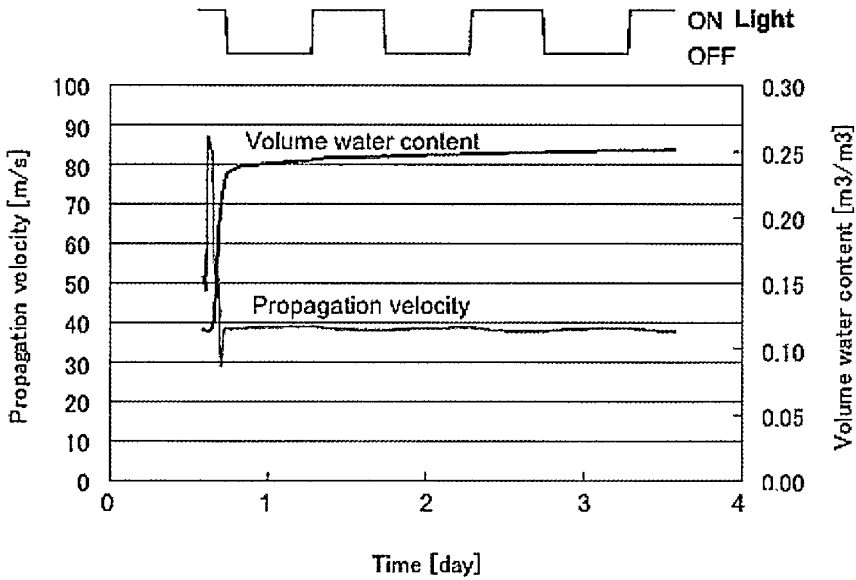


Fig.8 The experimental result of propagation velocity of sound and volume water content after the cutting the plant

■ : Volume water content, □ : Propagation velocity of sound

## 2.4 植物収穫後の土壌の伝搬音速と体積含水率の関係

上記の実験の後、植物の根元付近を切断し同様の計測を継続した。収穫前後の写真をFig.7に示す。また、切断面はフィルムで覆ったものとする。計測は植物切断した後に開始し3時間給水、その後は給水を行わなかった。計測期間は約3日間行われた。計測結果をFig.8に示す。Fig.8より給水中は変化を示したがその後はほぼ変化しない結果となった。すなわち、上記の計測が植物の吸水により土壌水分が変動する状況を観測していたことを示す結果と言える。

## [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. Y.Nakagawa, et.al.: Proc. IEEE IUS 2012, pp183-184(2012)
3. T.Sugimoto, et.al.: Jpn. J. Appl. Phys., 52 (2013) 07HC04
4. Zhiqu Lu, et.al.: SSSAJ Vol.73 No.5,1614(2009)

## 3. まとめと今後の課題

今回、植物を栽培している培養土における土壌水分を音波を用いて推定する実験を行った。その結果、土壌の伝搬音速は水分状況に応じて変化していることが体積含水率の値と比較することで確認された。また、伝搬音速と体積含水率の変化のタイミングはほぼ同じような時間帯であると観測された。さらに伝搬音速と体積含水率には負の相関関係があることがわかったため、土壌の伝搬音速を測定することにより水分状況を把握することができる可能性が確認された。しかしながら、土壌の伝搬音速を変化させる要因として土壌の締まり具合（密度）の変化があるため、今後は土壌の締まり具合も含めた振動計測を行っていくつもりである。