

土耕栽培における水分重量監視装置の開発：

自動目盛読取と実証試験

Moisture weight monitoring device in soil cultivation: Automatic scale reading and verification test

稲尾 哲哉¹ 梅原 伊吹¹ 山崎優太¹ 藤本 柊弥¹ 星野 拓巳¹ 高田 拓¹
Tetsuya Inao Ibuki Umehara Yuta Yamazaki Shuya Fujimoto Takumi Hoshino
Taku Takada

要旨：鉢植え植物内の水分重量を監視するために、環境計測を行う環境計測部、鉢植え全体の重量を計測する重量計測部、一定時間に定量の水を灌水する灌水部からなる装置を開発している。環境計測部には、新たに土壤の温湿度センサと土壤水分センサを加え、重量計測部では、重量計のデジタル目盛を自動で読取る機能を実装した。キュウリ苗に対する装置の試験計測によって、環境と水分重量の変化の関係を調べた。

キーワード： 土耕栽培, 植物の水分保有量, 環境計測, 水分重量

1. はじめに

植物にとって水は欠かすことのできない存在であり、特に高等植物の葉などは、重量の 80~90%が水で占められている。水は養分を運び、植物自体の温度調節を行うなどの役割を果たしている。植物内の水が減ると葉が萎れたり、枯れたりすることで、光合成が活発でなくなり、養分を生成できなくなる。そのため、植物内の水の動きを把握し、植物がどの程度の水を保有しているのか、土壤がどの程度乾いているのかを明らかにすることは、植物の生長サイクルにおいて、栄養生長と生殖生長のバランスを取る上で重要である。

図 1 に、植物における水分の動きを示している。鉢植えの場合、灌水された水分(①)の多くは、土壤を通り抜けて(②)受け皿に貯まる。その後、時間が経つと、土壤や受け皿から水が蒸発する(③④)。土壤で根から吸収された水分(⑤)は、茎の中を通り、植物の各組織を潤しながら葉の末端へ運ばれる。運ばれた水分は主に、葉からの蒸散による放出(⑥)や光合成による消費(⑦)によって失われる。図に示した水分の入出力量を把握できれば、植物が保有している水分量を推定できる。

近年の農業においては、計測装置により、植物環境や植物の状態を監視することが容易となった^[1-4]。得られたデータを基に、植物への灌水量を調節する試みなどがある^[5-7]。トマトの樹勢画像から、萎れ具合と適切な灌水量を深層学習させる試みなどが成功している^[5]。将来的には、植物が保有する水分量を、深層学習などにより植物画像から推定することが可能となるであろう。

本研究では、鉢植え植物の重量監視と、周辺環境計測を行う装置を開発し、長期間計測データを取得することを目的とする。開発中の装置に^[1]、新たに土壤温湿度と土壤水分指標の計測機能を付加し、得られたデータを比較することで、鉢植え植物の水分の入出力を調べる。

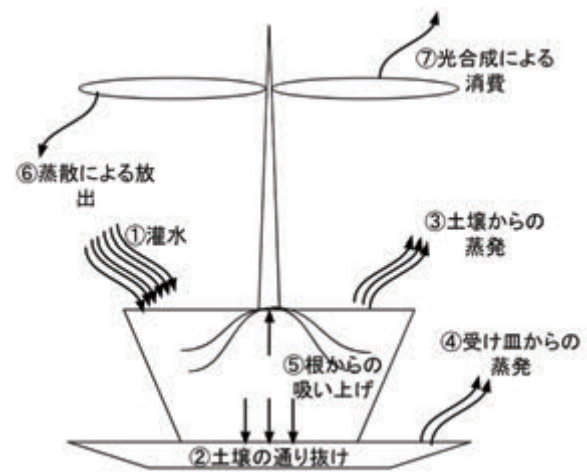


図 1 鉢植え植物における水分の入出力

2. 計測装置

2.1. 装置の概要

開発した計測装置は、表 1 に示すように環境計測部、重量計測部、灌水部の 3 つからなる。環境計測部では、植物周辺の温度などの環境を計測する。重量計測部では、鉢植え植物の重量を計測し、水分重量の変化を算出する。

¹ 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科

灌水部では、植物に対して定期的に定められた量の灌水を行う。

表 1 計測装置の機能説明

装置名	計測パラメータ	目的
環境計測部	気温・相対湿度・日射量・二酸化炭素濃度・土壌温度・土壌湿度・土壌水分指標(土壌水分量割合)	・環境状態の計測 ・植物の生長との関連付け
重量計測部	鉢植え植物の重量	・水分重量変化の算出
灌水部	灌水時刻・灌水継続時間	・定期的な一定重量の灌水

2.2. 環境計測部

環境計測部では、植物周辺の環境変化を測定するため、気温 [°C]、相対湿度 [%]、土壌温度 [°C]、土壌湿度 [%]、土壌水分指標、気圧 [hPa]、日射量 [W/m²]、二酸化炭素濃度 [ppm] の計測を行う。土壌水分量割合 [%] は土壌水分指標から算出する^[8]。これらの物理量は、図 1 で示した水分の入出力と関係している。具体的には、気温や湿度は水分の蒸発 (③④) と関係しており、土壌水分指標は、水の土壌通り抜け (②)、水分の蒸発 (③④)、根からの吸い上げ (⑤) による影響が関係する。日射量は、水分の蒸発 (③④)、葉からの蒸散 (⑥)、光合成による消費 (⑦) と関係する。

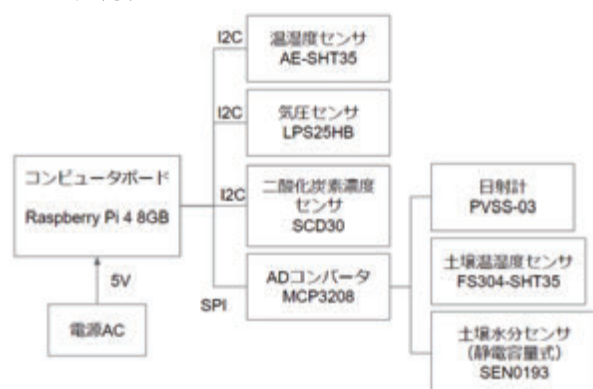


図 3 環境計測部のシステム構成図

2.3. 重量測定部

重量測定部では、鉢全体の重量を継続的に監視することで、水分重量の変化を算出する。重量測定器には FX-5000i (秤量 5200g, 最小表示 0.01g) を使用し、重量測定器の表示部を web カメラ (C280n) で撮像し、重量値のデータを収集する。

2.4 灌水部

灌水部には、自動散水タイマー (スマジョロ SJ1) を使用しており、図 3 に灌水部の外観を示す。タイマーをセットして自動で 2 つの鉢植えに灌水を実施する。灌水に関しては、開始時刻を午前 7 時と午前 12 時の 1 日 2 回とし、1 回に 5~20 秒間の散水を行う。灌水時間は、季節や植物生長の状況により変更している。ホースの長さは、散水タイマーから水道蛇口までは約 1.4 m、二股分岐までは 9.0 m、二股分岐から鉢植えまでは各々 1.4 m であり、スプリンクラー部は、点滴タイプとする。灌水量を計測した所、灌水時間 20 秒で、1 鉢あたり 96~97 g 灌水される^[1]。



図 3 灌水部の外観 (右:スプリンクラー側, 左:散水タイマー側)

3. 実証試験の結果

2022 年 7 月下旬頃に、キュウリ苗の鉢植えを 2 セット用意した。設置場所は建物 8 階の南西に面した窓辺であり、晴天時の日中は直射日光がよく当たる。図 4 に設置場所の写真を示す。



図 4 計測装置の設置場所

3.1. 重量計測の試験結果



図5 重量部の外観

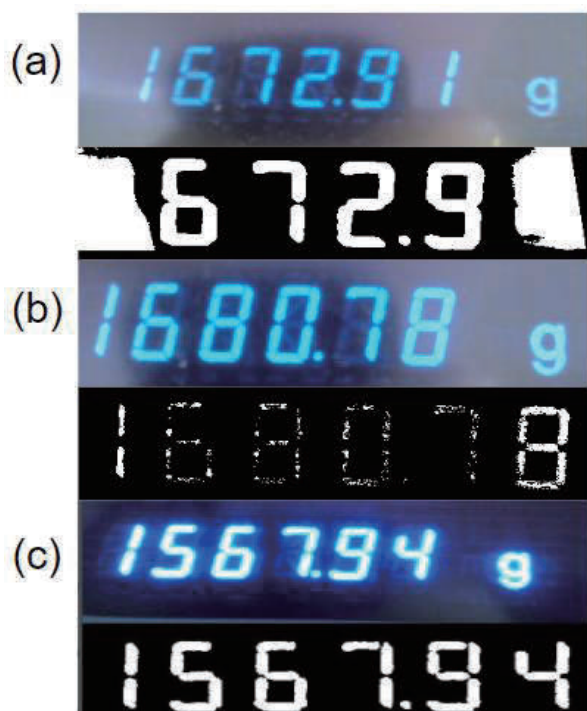


図6 重量計画像の読取り例：(a)白飛びの例，(b)かすれの例，(c)読取り成功例

図5に重量測定部の外観を示す。重量測定器の数値表示部をwebカメラで10秒毎に撮像し、画像解析する。撮像画像中の7セグメント部を切り取って2値化し、各セグメント位置の明暗を検知し数値化する。

図6に、撮像した元画像と、2値化した画像を示す。(a)の例では、両端の数字が白飛びし、正しい重量を検出できていない。(b)の例では、セグメントの明線が閾値と同程度のため、中央の4つの数字がかすれている。主な原因は、(a)(b)ともにカメラの影が画像に映り込むこと

であったため、段ボールでカメラの周囲を覆い、影ができないようにした。その結果、(c)の例のように、明確に6つの数字を検出できた。一方で、両端の数字が認識できないことに対して、計測誤差を犠牲にする方法もある。特に、今回のように1つの物体を継続計測する場合、1kgの桁の数値が突然変わることは考えにくく、計測前後の値と比較することで、1kgの桁の数値を推定することができる。また、0.01gの桁が検出できなくとも、0.1gの桁まで読み取れているため、計測誤差は大きいですが、重量を読み取り可能である。

3.2. 環境計測の試験結果

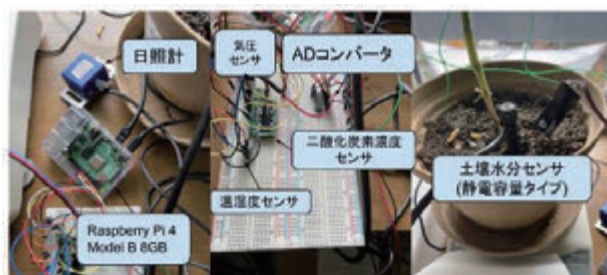


図7 環境計測部の外観

図7に環境計測部の外観を示す。環境計測部のサンプリング時間は60秒とし、2022年11月に計測を行った。

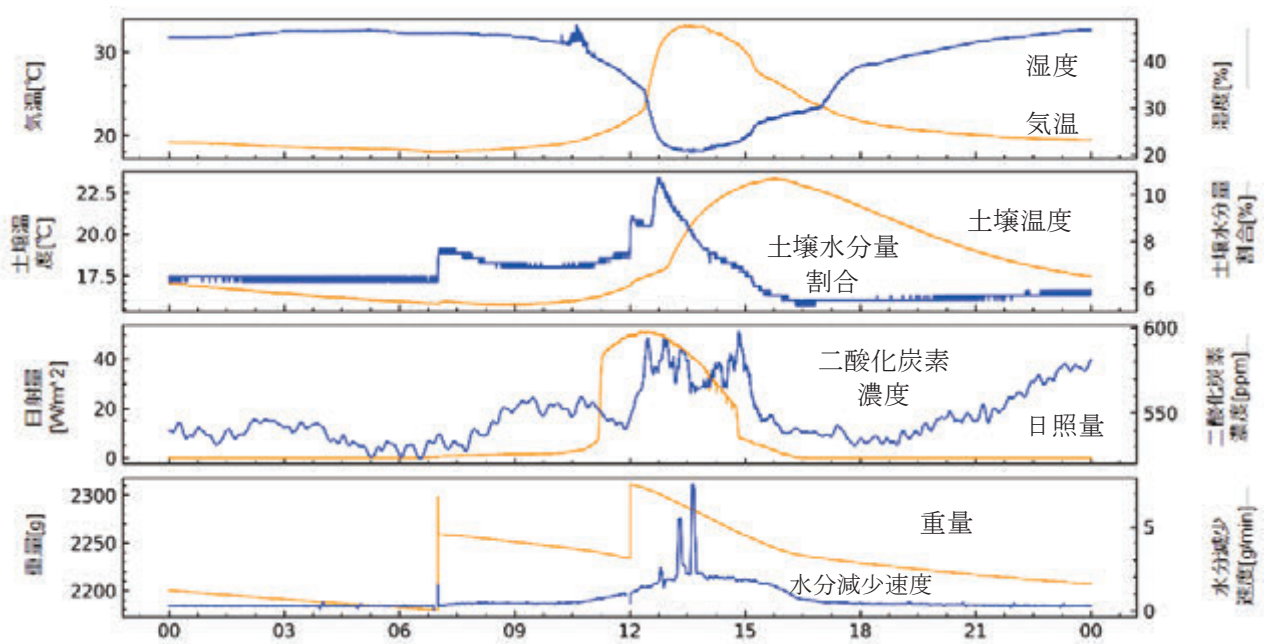


図8 計測装置のデータ (2022年11月25日)

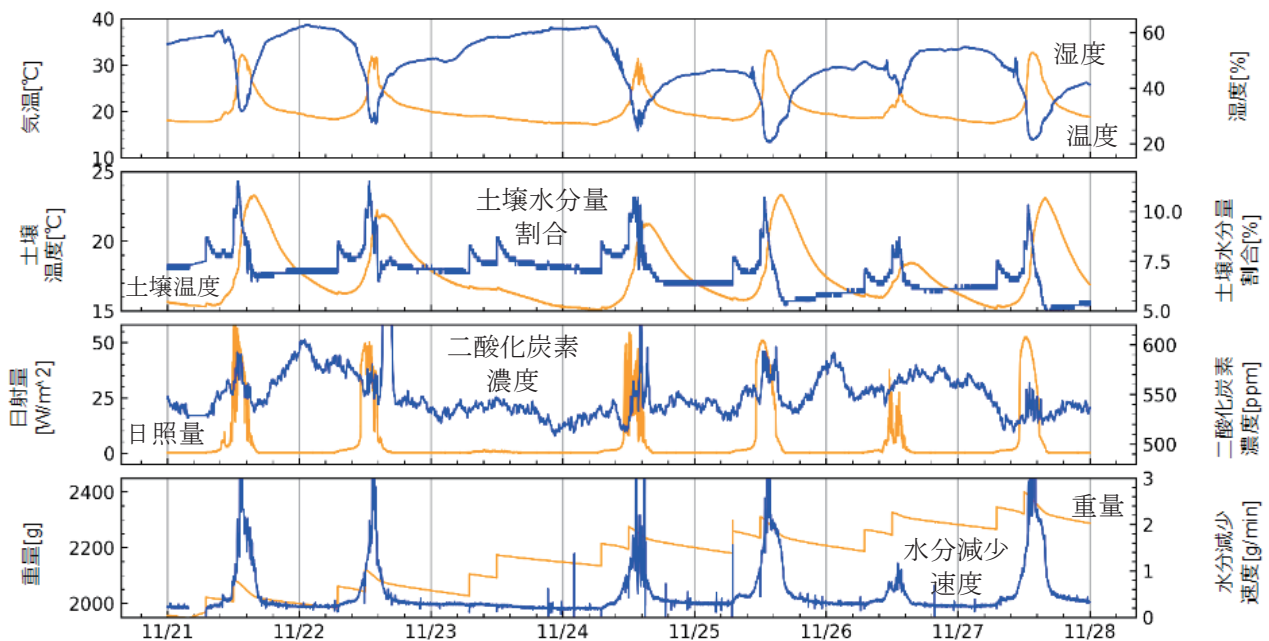


図9 計測装置のデータ (11月21日~11月27日)

ただし、不具合のため、気圧データは正確な値を取得できていない。

図8に、2022年11月25日のデータを示す。日照量は、10時頃から数値が上がり始め、11時頃から急激に上昇する。ピークの13時頃を過ぎると徐々に下がり始め、15時頃に急激に降下する。南西側に面した窓の近くであ

ることから、窓から太陽光が差し込む時間帯に日照量は急激に大きくなる。日照量に対応して、気温は8時過ぎ頃から少しずつ上昇し始め、12時30分頃に急激に上昇し、ピークの15時頃を過ぎると、大きく下がり、その後も徐々に気温が下がっていく。土壤温度は、気温に少し遅れて上がり、ゆっくりと下がる。土壤水分量割合は、

灌水時刻の7時と12時に大きく上がり、その後徐々に下がるが、気温が高い13時から14時の水分割合は高い。ただし、気温は日射量に応じて変化している。

鉢植え全体の重量は、灌水時刻の7時、12時頃に急激に増加し、その後は、徐々に減少している。鉢植え全体の重量の1分間平均の差分から、水分の減少速度を算出した。水分の減少速度は、夜間で最も小さく、7時の灌水時刻以降にやや大きくなる。その後、気温が上がるとともに、水分の減少速度は大きくなり、13時から14時頃の間には最大となる。

図9に、11月21日から11月27日の1週間に得られたデータを示す。11月22日、25日、27日は晴れ、11月21日、24日、26日は曇り/晴れ、11月23日は雨であった⁹⁾。天候に応じた日射量に対応して、温湿度及び土壌温度の高低が生じている。二酸化炭素濃度は、日によって大きく変化しているが、日射量が大きくなる正午過ぎに変動があることは共通している。日射量の少ない11月23日と11月26日は日中の変動が少ない。日射量が上がると、二酸化炭素濃度は一旦減り、その後増加することから、昼頃までは光合成が活発で、その後、呼吸の割合が多くなると考えられる。

天候によらず、水分重量については、灌水のタイミングで重量が階段状に増え、その後は徐々に重量が減少する。また、日を追うごとに鉢植え全体の重量が増加しているが、特に雨曇りの日の方が重量の増加が大きいため、灌水した水が受け皿にたまり続けているためと考えられる。水分減少速度は、晴れの日が大きく、雨の日に小さい傾向にある。

4. 考察

定期的な灌水をしているため、水分の減少速度は、1日の中で典型的な変化を示している。夜間から日の出頃までの時間帯は、水分減少速度はほぼ一定の小さな値であり、夜間の土壌からの蒸発や暗所での葉からの蒸散と関係している。ただし、灌水後のように土壌水分が多ければ、水分減少速度はやや大きくなる。日射量が多くなり、気温が高くなると、水分減少速度は気温とともに大きくなる。日射量と水分減少速度に相関はあるが、日射量と気温が関係しているためと考えている。また、雨や曇りでは、晴れに比べて日射量が小さく、気温の上がり方も小さいため、水分減少速度は、天候によって大きく変化の仕方が異なる。今回、1週間単位での変化を比較することによって、水分減少速度の典型的な変化の仕

方と、主に土壌からの蒸発に関わる環境への影響を定性的に理解することができた。

5. まとめ

本実験では、鉢植え植物内の水分重量を監視するために、環境計測を行う環境計測部、鉢植え全体の重量を計測する重量計測部、一定時間に定量の水を灌水する灌水部からなる装置を開発した。特に、環境計測部には、新たに土壌の温湿度センサと土壌水分センサを加え、重量計測部では、重量計のデジタル目盛を自動で読取る機能を実装した。キュウリ苗に対する装置の試験計測によって、環境と水分重量の変化の関係を調べた。結果として、観測データより水分減少速度を算出でき、植物の水分の入出力について考察できるようになった。具体的には、水分減少速度の変化に対する土壌からの蒸発の影響を定性的に把握できた。

今後は、蒸発の影響を定量的に把握した上で、蒸発以外の影響についても関係を把握することを目指す。特に、土壌からの蒸発の影響を抑えるために、土壌表面をアルミ箔で覆った対照実験などを実施する予定である。

謝辞

計測装置の開発に関して、一般財団法人 WNI 気象文化創造センターから助成を受けました。

参考文献

- [1] 鈴木 悠泰, 須原 廉, 星野 拓己ほか: 土耕栽培における水分重量監視装置の開発と実証試験, 東京都立産業技術高等専門学校研究紀要, 16, pp. 59-63, 2022
- [2] 木村 竜士, 金村 匡将, 中山 信ほか: 園芸施設内固定環境計測装置の開発と耐熱設計の検討, 高知工業高等専門学校学術紀要, 66, pp. 37-44, 2021
- [3] 高田 拓, 上田 久生我, 木村 竜士ほか: 可視・熱画像データ解析による植物生長に関する特徴量抽出手法の検討, 高知工業高等専門学校学術紀要, 66, pp. 57-65, 2021
- [4] 中山 信, 高田 拓, 木村 竜士ほか: 2変数入力システムの同定法によるビニールハウス内の温度・飽差モデル—春秋期におけるモデルの短期間学習と構築—, 農業情報研究誌, 30-1, pp. 1-12, 2021
- [5] 若森 和昌, 柴田 瞬, 峰野 博史: 深層学習を用いた植物の水分ストレス推定手法の検討, マルチメディア, 分

散協調とモバイルシンポジウム 2017 論文集, pp. 199-206, 2017

[6] 伊藤 次郎, 岡安 崇史, 野村 浩一ほか: 低コスト IoT デバイスを用いた植物フェノタイピングロボットの開発とその性能評価, 農業情報研究, 30-2, pp. 13-23, 2021

[7] 岡安 崇史, 伊藤 次郎, ハミダ アストリアティ: 植物の生育特徴量計測における低価格小型コンピュータの可能性, 電子情報通信学会誌, 104-6, pp. 532-537, 2021

[8] 静電容量式土壌水分センサー SKU: SEN0193, <https://www.ne.jp/asahi/shared/o-family/ElecRoom/AVRMCOM/SEN0193/SEN0193Test.html>, 閲覧日 (2023 年 1 月 11 日)

[9] goo 過去の天気, <https://weather.goo.ne.jp/past/>, 閲覧日 (2023 年 1 月 11 日)