

深層学習による もも樹の水ストレス動画診断技術の開発

果樹の生育診断技術の活用貢献

国立研究開発法人 農研機構
果樹茶業研究部門 果樹生産研究領域(ブドウ・カキ研究拠点)
果樹スマート生産グループ グループ長補佐

山根崇嘉

ももの樹の水分状態は、果実の大きさや糖度、樹の生育に影響するため、樹の水分状態に応じた適切なかん水が求められる。そこで、画像から水ストレス^{*1}を推定する技術を開発した。すなわち、人為的に樹のさまざまな水ストレス状態をつくり出し、樹の周辺から動画撮影を行い、その動画から抽出した静止画を深層学習^{*2}モデルで学習し、水ストレス推定モデルを作成した。テストデータでは、樹の動画由来の静止画群から枝の水ポテンシャル^{*4}を平均化することで、ももの樹の水ストレス程度を高い精度で推定できた。この動画診断技術は、水ストレス以外の樹の生育や果実の診断に活用でき、経験が必要な栽培管理の標準化や自動化に貢献すると期待される。

今号では、動画からの水ストレス推定方法について紹介する。

- *1 水ストレス：植物への水分供給が少なく、葉が萎れるなどの乾燥状態になること。
- *2 深層学習：人間の神経細胞の仕組みを再現したニューラルネットワークを用いた機械学習^{*3}の手法のひとつ。
- *3 機械学習：経験からの学習により自動で改善するコンピュータールゴリズム。典型的には「訓練データ」もしくは「学習データ」と呼ばれるデータを使って学習し、学習結果を使って何らかのタスクをこなすもの。
- *4 水ポテンシャル：枝中の水分欠乏程度を表す数値、水が移動するための駆動力、値が小さいほど乾燥していることを示す。

なぜ、適度な水分状態の把握が必要なのか

ももの樹に水ストレスをあたえると、果実の糖度が上昇することが知られている。しかし、水ストレスによって果実肥大が抑制される場合や渋みが発生する場合もある。これらの影響は、果実の発育ステージにより異なることから、果実の発育ステージに応じた精密なかん水制御が必要となる。一方、果樹のかん水は、雨が降らない日数に基づき経験的に実施されていることが多い。直近の降水量からかん水量を指標化している地域もあるが、土壌の種類や樹の状態などが異なれば、樹の水ストレスも異なることから、一

律に天候だけに基づいて精密なかん水を行うことは難しい。

また、一部では土壌の乾燥程度を計測しているが、果樹の根は深く広がっており、必ずしも土壌の計測部位に根が伸びているとは限らず、表層の土が乾いていても樹は水ストレスを受けていないことが多い。例えば、雨よけハウス内で土壌の表面がひび割れるほど乾燥していても樹が水ストレスを受けていないことがあるのは、根がハウスの外に伸びているからである。このような場合、ハウス内の土壌水分を測定しても精密なかん水を行うのは難しい。精密なかん水を行うには、樹の水分状態（枝の水ポテンシャル）を適切に把握することが鍵となる。

乾燥の過程における葉の萎れ

枝の水ポテンシャルを画像から診断するには、乾燥する過程でももの樹に起こる外見的变化を確認する必要がある。そこで、乾燥過程の葉の萎れと枝の水ポテンシャルとの関係を調査した。葉の萎れは、レーザー距離計を三脚に設置し、レーザー距離計と葉の距離を測定することで数値化した（図1）。その結果、葉の萎れと枝の水ポテンシャルには高い相関があることがわかり、画像から萎れ程度を検出できれば、枝の水ポテンシャルを推定できると考えられた。

深層学習モデル開発の課題

果樹の圃場で深層学習による水ストレス判別モデルを

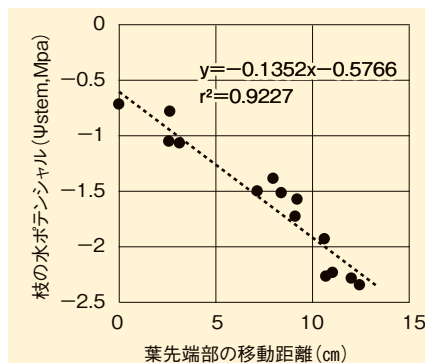


図1 レーザー距離計で葉の萎れを測定(Yamane et al. 2023より改変)

作成するには、二つの大きな課題があった。ひとつは、深層学習には大量の学習用の画像が必要であるが、ポット植え樹のような容易に乾燥させることができるものに比べ、圃場の地植え樹は乾燥までに時間がかかり、深層学習に必要な比較的強い水ストレスの画像を取得するには、長期間の晴天が続くような干ばつ年を待たなければならないこと。もうひとつは、撮影対象の樹が大きく（樹冠8×6m、樹高3m）、樹全体を遠距離で撮影すると細部の情報が得られず、樹を接写すると葉の状態などは撮影できるが、樹全体の情報が得られないことが課題であった。そこで、枝基部の部分切断処理（枝の葉は2週間程度かけて徐々に萎れる）により大量の水ストレス画像を収集し、動画を用いた新たな果樹の画像解析手法を開発した。

動画を用いた果樹の画像解析

大きな樹体の撮影方法については、樹の周囲を歩きながら50～100cm程度の距離で近接動画を撮影して樹の細部と全体の情報を得ることを試みた。動画は静止画フレームに分割してから解析した。最終的には、複数の異なる樹からさまざまな水分状態の画像を合計約4万枚獲得し、深層学習（Resnet50による回帰モデル）を用いて試験を行った。

その結果、学習させた深層学習モデルによる推定値と実測値との間には有意な相関（ $r^2=0.767$ ）が認められた（図2A）が、同じ動画由来の画像であっても推定値は大きくバラツキ、誤差が大きかった。このとき、同じ動画由来の全フレームの推定値を確認すると正規分布となっていた（図2B）。そこで、解析した全フレームの推定値を平均化し、平均推定値と実測値との間の関係をみると、非常に高い相関が認められた（ $r^2=0.927$ ）（図2C）。これらのことから、動画のフレームの推定値を平均化すれば、枝の水ポテンシャルを高い精度で推定できる

ことがわかった。

また、本推定モデルを自然状態の水ストレス画像で検証したところ、撮影時と同様の生育ステージの画像であれば、比較的高い精度で推定できることを確認している。

果樹の動画診断手法の提案

これまで果樹の撮影方法は未確立であったが、今回、樹の周囲から近接動画を撮影することで、葉の細部情報と樹の全体情報を統合して取得できた（写真1）。これらの画像を用いて深層学習による水ストレス判別モデルを作成し、診断時には動画から取り出した複数の画像によりそれぞれの推定値を算出した。さらに、その推定値群の平均値（中央値でも可）を取得することにより、樹の代表値を高い精度で推定できた。このような手法は、水ストレスだけでなく、樹体の大きな果樹を扱う場合や、向きにより見え方の異なる果実など、ほかの画像診断にも活用できると期待される。

【監修：(公社) 農林水産・食品産業技術振興協会】



写真1 動画を用了果樹の撮影および診断方法(Yamane et al. 2023より) 遠距離撮影(外枠)では樹以外の映り込みが大きく、細部の情報が得られないが、近接動画(内枠)で樹を周囲から撮影すれば、細部と全体の情報を統合することができる

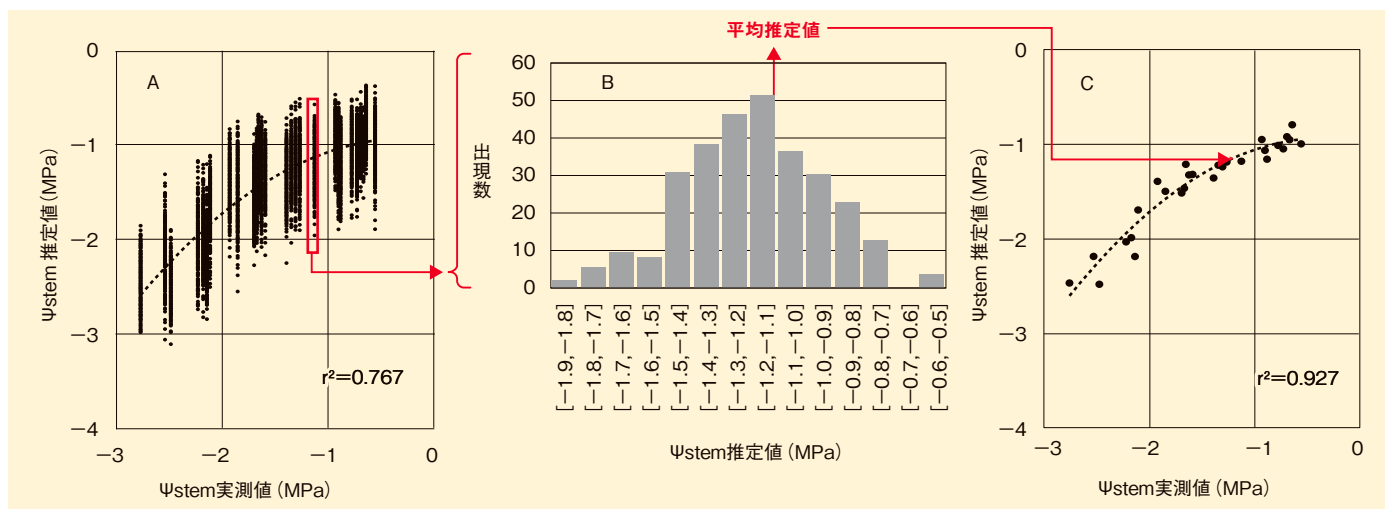


図2 テストデータセットでの枝の水ポテンシャル(Ψ_{stem})推定モデルの検証(Yamane et al. 2023より改変)