

Optical Flow を用いた植物水分ストレス推定手法の検討

柴田 瞬[†] 古都 哲生^{††} 峰野 博史[‡][†] 静岡大学情報学部 ^{††} 株式会社メガチップス [‡] 静岡大学情報学領域/JST さきがけ

1. はじめに

近年、高糖度トマトのブランド化が注目されるように、高品質な農産物市場が活性化している。トマトに代表される果実の糖度は、一般に水分ストレス（渇き状態）を付与することで上昇することが知られており、熟練の農業従事者は、経験と勘に基づく巧みな灌水制御によって、適切な生育ステージで適切な水分ストレスを付与し高品質な農作物の栽培を実現している。この水分ストレスの定量化に関して、植物内の水分量を直接測定する手法[1]や、萎れに代表される植物外観の変化量を検出することで間接的に推定する手法[2,3]等が検討されてきた。しかし、既存手法は、安価かつ高精度な水分ストレスの定量化が実現されておらず、一般の農業従事者が既存手法を手軽に用いることは難しかった。

本研究では、高価な計測器を必要とせず手軽に導入しやすい画像処理法に関して、動体検出に用いられるOptical Flowを採用することで、軽微な萎れを検出し高精度に水分ストレスを定量化できる手法を提案する。

2. 関連研究

水分ストレスの定量化で必要とされる植物外観の変化量を検出するため、一般的に使用される画像処理法では、画像から植物体だけを分離した後に、植物の動きを解析することで萎れを検出する。例えば、判別分析法で植物体から輪郭を忠実に抽出し、その重心を追跡することで萎れを検出する手法[2]は、顕著な萎れの検出が可能である。一方で、植物全体の重心を用いて萎れを検出するため、軽微な萎れの検出は難しい。さらに、輪郭の抽出精度の向上のために黒色の背景を設置しており、実際の栽培環境への適用には課題が残る。また、同様に判別分析法で植物体から輪郭を忠実に抽出した後、植物直上部からの投影面積を算出することで萎れを検出する手法[3]は、軽微な萎れの検出が可能である。しかし、手法[2]と同様に、輪郭の抽出精度の向上のために青色の背景を設置しており、実際の栽培環境への適用には課題が残る。

以上から、従来の画像処理法は、植物体の輪郭を忠実に抽出するために単純な背景を設置する必要があり、植物が生い茂る実際の栽培環境への導入は困難だった。栽培環境下での忠実な輪郭抽出を目指した研究[4]も行われているが、周囲に植物が存在しない単純な環境で評価されており、植物が生い茂る栽培環境では評価されていない。栽培環境で画像処理法に基づく水分ストレス定量化手法を導入するためには、植物体の忠実な抽出処理が不要で、かつ軽微な萎れを検出できる方法が重要と考える。

A study on plant water stress estimation using optical flow

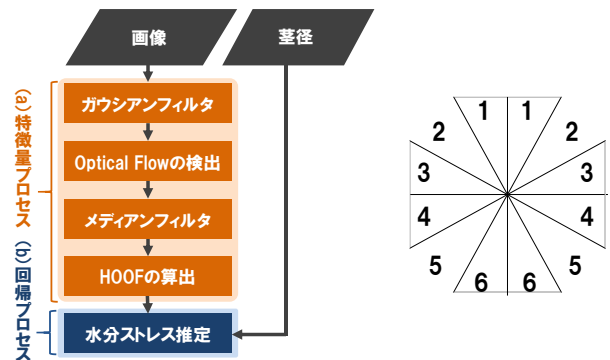
Shun Shibata[†], Tetsuo Furuichi^{††}, Hiroshi Mineno[‡][†] Faculty of Informatics, Shizuoka University^{††} MegaChips Corporation[‡] College of Informatics, Shizuoka University / JST, PRESTO

図1：提案手法の流れ

図2：HOOFの量子化例

3. Optical Flow を用いた植物水分ストレス推定手法

植物外観の変化量検出に高価な計測器を必要とせず、手軽に導入しやすい画像処理法の中でも、動体検出に用いられるOptical Flowを採用することで、植物体の忠実な抽出をせずに軽微な萎れも検出し、高精度に水分ストレスを定量化する手法を提案する（図1）。Optical Flowとは、画像間の物体の動きを速度ベクトルで表したものであり、Optical Flowの検出には、ある画素における時空間的濃度勾配から速度ベクトルを推定する勾配法が多く用いられる。勾配法を用いたOptical Flowの推定には様々な手法が提案されているが、その中でも非剛体の動きを追跡できるDeep Flow[5]を採用する。Deep Flowは、移動前後の画素の輝度値は不変であり、全体的なOptical Flowは滑らかであることを仮定し、特徴点のマッチングを行うことでOptical Flowを計算する。提案手法では、Deep Flowで算出されたOptical Flowからヒストグラムを作成し、水分ストレス定量化指標の1つである茎径[6]を正解データとして、回帰モデルを構築する。

提案手法は、特徴量プロセス（図1(a)）と回帰プロセス（図1(b)）から構成される。特徴量プロセスでは、まずノイズを低減するために、取得した画像に対してガウシアンフィルタを適用し、Optical Flowで萎れを検出する。次に、Optical Flowの誤検出を除去するために、メディアンフィルタを使用し、Optical Flowの角度をビン、長さを重みとしたヒストグラムであるHOOF（Histograms of Oriented Optical Flow）[7]を萎れの特徴量として算出する。HOOFは、Optical Flowの方向と水平軸の角度が小さい方の角度を採用することで、左右対称の萎れの動きを同一の特徴として表現できる（図2）。また、カメラからの距離の違いによる特徴量の違いを除去するために、ヒストグラムの面積を正規化する。

回帰プロセスでは、HOOFを説明変数、茎径を目的変数として構築した回帰モデルで水分ストレスを推定する。茎径の計測は、測定機器が高価であり、実際の栽培現場への手軽な導入は難しいが、水分ストレスとの相関が強く[6]、連続的な評価も可能であるため、回帰モデルの構築に使用する。



(a) 単純背景画像 (b) 複雑背景画像
図3：評価対象



(a) 単純背景画像 (b) 複雑背景画像
図4：Optical Flow

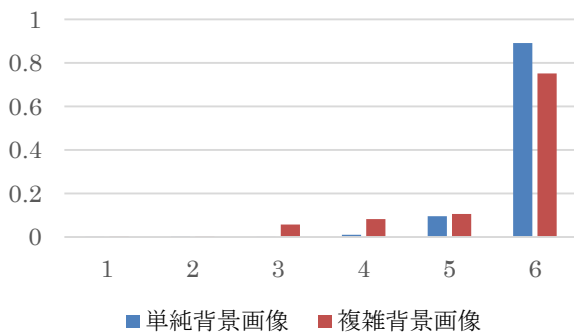


図5：HOOF

4. 基礎評価

Optical Flow を用いた植物水分ストレス推定手法の特徴量プロセスの基礎評価として、単純背景画像と複雑背景画像から算出した HOOF の類似度を比較した。画像処理ソフトでカラー画像から植物体を抽出し、抽出した植物体を単色画像と研究室内の画像に合成することで、単純背景画像と複雑背景画像を作成した。

実験は、研究室にて2015年10月1日12時00分から同日24時00分にかけて行い、萎れが観測された時刻のHOOFを比較した。対象の植物にはトマトの苗1株を用意し、実験開始日の前日以降の給水を停止することで、水分ストレスを付与した。トマト個体の生長点からの仰角が0度の位置にRaspberry Pi2 Model Bを設置し、10分間隔で撮影を行った。また、HOOFの類似度の指標には、ヒストグラム間距離の1つである Bhattacharyya 距離[8]を用いた。Bhattacharyya 距離は、0から1の値をとり、類似度が高いほど値は小さくなる。

評価画像として、萎れが観測された16時20分と16時30分の画像から単純背景画像と複雑背景画像を作成した。作成した画像のうち、16時20分の単純背景画像と複雑背景画像を図3に示す。その後、単純背景画像と複雑背景

画像の双方において、16時20分と16時30分の画像間のOptical Flowを検出し、HOOFを算出した。検出したOptical Flowを図4に、HOOFを図5に示す。このHOOF間のBhattacharyya 距離は、0.21であった。この結果は、Optical Flowが、複雑背景下でも単純背景下の場合と同様に萎れを検出できる可能性を示しており、栽培環境への手軽な導入が可能であると考えられる。一方で、図3(b)の複雑背景画像では、背景領域からOptical Flowを誤検出した(図3赤丸部)。この原因として、照明変化による物体の影や色の変化が考えられる。Optical Flowは、各画素の輝度に基づいて物体を追跡するため、照明変化に伴う色の変化の影響を受けやすい。そこで、顔検出や人検出に代表される機械学習を用いた検出手法を応用し、Optical Flow検出前におおよその植物領域を抽出することで、背景領域が減少するため、照明変化による誤検出の低減が期待できる。

5. おわりに

本研究では、高価な計測器を必要とせず手軽に導入しやすい画像処理法に関して、動体検出に用いられるOptical Flowを採用することで、植物体の忠実な抽出をせずに軽微な萎れを検出し高精度に水分ストレスを定量化する手法を提案した。単純背景下と複雑背景下で求めたHOOFの類似度を評価した結果、Bhattacharyya 距離は0.21であり、複雑な背景を伴う栽培環境への手軽な導入が可能であることを示した。

今後、水分ストレスの推定精度を評価するため、HOOFを説明変数、茎径を目的変数とした回帰モデルを構築し、植物が生い茂る栽培環境下に提案手法を適用する。また、照明変化によるOptical Flowの誤検出を防ぐため、機械学習を用いた植物領域の抽出を検討する。

参考文献

- [1] Per Fredrik Scholander, et al., "Sap pressure in vascular plants," Science vol.148, pp.339-346, 1965.
- [2] 田附明夫, 他. "数種浸透質の添加と無酸素または通気停止処理によるキュウリ幼植物体の水ストレスの画像診断," 園芸学研究, vol.6, no.3, pp.367-373, 2007.
- [3] 高山弘太郎, 他. "デジタルカメラを用いた投影面積モニタリングによるトマトの水ストレス早期診断," 植物環境工学, vol.21, no.2, pp.59-64, 2009.
- [4] Chunlei Xia, et al., "Plant leaf detection using modified active shape models," Biosystems Engineering, vol.116, no.1, pp.23-35, 2013.
- [5] Philippe Weinzaepfel, et al., "Deepflow: Large displacement optical flow with deep matching," IEEE ICCV, pp.1385-1392, 2013.
- [6] 大石直紀, "トマトの養液栽培における水分ストレスに応じた給液制御システムの開発(1)ー茎径変化による水分ストレスの非破壊評価ー," 生環調, vol.40, pp.81-89, 2002.
- [7] Rizwan Chaudhry, et al., "Histograms of oriented optical flow and binet-cauchy kernels on nonlinear dynamical systems for the recognition of human actions," Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1932-1939, 2009.
- [8] Frank J. Aherne, et al., "The Bhattacharyya Metric as an Absolute Similarity Measure for FrequencyCoded Data," Kybernetika, vol.32, no.4, pp.1-7, 1997.