

リモートセンシングによるセロリの芯腐れ 早期検知

Early Detection of Blackheart of Celery Using Remote Sensing Observations

夏季のセロリの栽培で発生する芯腐れ症は、発症すると出荷できなくなり廃棄ロスの被害をもたらす。そのため、生産者は定期的にカルシウム水溶液を散布し対処している。本研究では、芯腐れの見逃しを減らしつつ、対処のための作業コストを低減するため、芯腐れの前兆である芯の部分の白化をリモートセンシングで検知できるかどうかを検証した。マルチスペクトルカメラによる地上測定データから株ごとの画像を抽出し、分類木による自動分類を行うことで、白化もしくは芯腐れが発症した異常株を83%の精度で検知することができた。

飯塚 新司 Iizuka Shinji
手塚 大 Tezuka Masaru

1. はじめに

国内のセロリの生産は長野県と静岡県が主要な産地となっている。特に長野県では冷涼な気候を生かし、5月から11月にかけてセロリを生産している。しかし、夏季のセロリの栽培では高温期に芯腐れ症と呼ばれる病害が発生する。芯腐れ症は芯の部分が黒く変色する生理障害である(図1)。セロリは芯腐れが発症すると出荷に適さなくなるため、株ごと廃棄される。夏の気温が高い年では生産者によって3割程度の株で芯腐れが発症することもあり、廃棄ロスによる多大な被害をもたらしている。発症を未然に防ぐため、生産者は定期的に塩化カルシウム水溶液をセロリに散布して対処している¹⁾。しかし、現状では圃場全部の株に一株ずつスポット散布する方法が主流であり、また散布のタイミングを経験に基づいて決めているため、無駄な作業や廃棄ロスが発生している。そのため、生産現場では作業コストを低減し、芯腐れの見逃しを減らすことが課題となっている。



図1 芯腐れが発症したセロリ
(楕円で囲んだ箇所が芯腐れで変色した部位)

本研究ではこれらの課題を解決するため、リモートセンシング技術を活用してセロリの芯腐れを早期検知する研究を行った。農作物の病害検知へのリモートセンシングの適用については、麦や水稻を対象作物とした研究事例がある^{2~4)}。しかし、セロリの病害検知への適用事例はこれまでになかった。(株)日立ソリューションズ東日本(HSE)でも生育予測や収穫量予測を目的とした農業関連の研究を行ってきた⁵⁾。しかし、病害検知を目的とした研究は今回が初めてとなった。

セロリは芯腐れ発症前に芯の部分の新葉が白く変色する「白化」と呼ばれる状態になる。白化の状態ではカルシウムを散布すれば芯腐れを未然に防ぐことができる。そこで本研究では、リモートセンシングで白化や芯腐れの異常を検知できるかどうかを検証することを目的とした。

本研究は長野県の八ヶ岳中央農業実践大学校との共同研究として2015年7月から10月に実施した。八ヶ岳中央農業実践大学校には、主に実証のためのセロリ圃場の提供や圃場調査で協力していただいた。

2. 圃場調査

対象圃場は八ヶ岳中央農業実践大学校のセロリの圃場とした。所在地は長野県諏訪郡原村、場所は北緯138°15'34", 東経35°58'48", 標高約1,300mに位置する。2015年9月1日に個体調査を行い、株の芯の状態を目視で調査した。同一区画から白化や芯腐れの異常があった株59株、その他の正常な株100株を抽出した(図2)。

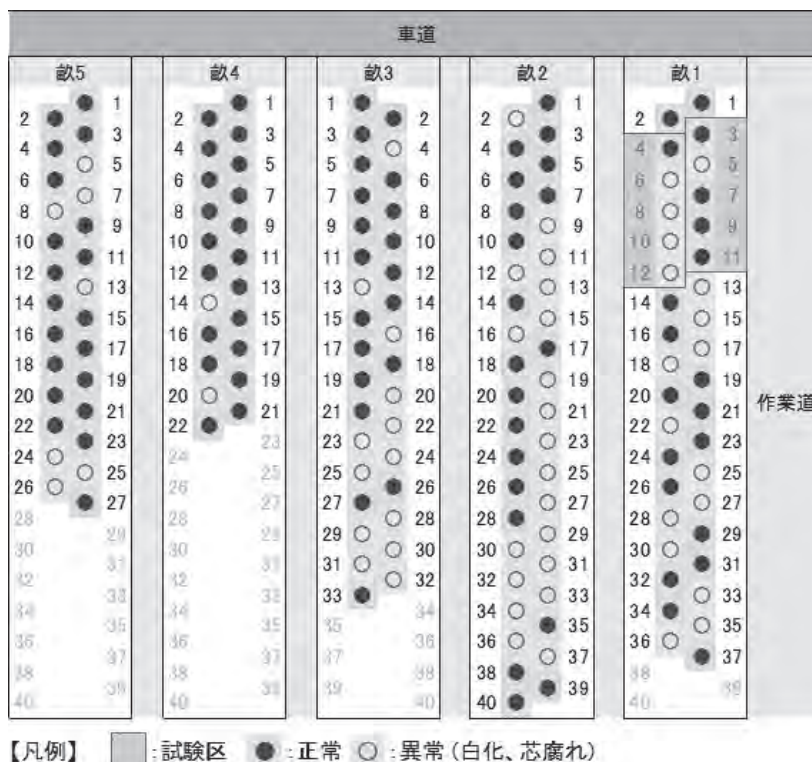


図2 個体調査の結果

マルチスペクトルカメラによる撮影は翌日2015年9月2日の13時から14時に行った。撮影時の天気は晴れ、気温は26.5℃であった。個体調査と同じ159株を対象とし、地上約3mの高さから撮影した。マルチスペクトルカメラにはTetracam Mini-MCA6を使用し、撮影には紫、緑、黄、赤、red edge、および近赤外線の6バンドを用いた。Red edgeは植生の反射率が急激に変化する700nmから750nmの波長域で、その反射率は葉のクロロフィル含有量と関係がある⁶⁾。図3は地上測定によるマルチスペクトル画像の例で、近赤外線、可視光の赤、緑を合成したフォルスカラー画像である。図中の白い部分は反射率を補正するための白色板であり、全ての画像に含まれるよう毎回撮影した。



図3 マルチスペクトル画像

(近赤外線、可視光赤、緑によるフォルスカラー画像)

3. マルチスペクトルカメラの測定結果の分析

3.1 マルチスペクトル画像の解析

次項の図4に示す手順(1)から(7)でマルチスペクトル画像を解析し、株ごとに228種類の統計量を算出した。

手順(5)では、マルチスペクトル画像からセロリの生育状態や活性状態を推定するため、各バンドの反射率のほか、2バンドの反射率 ρ_X 、 ρ_Y から算出した反射率比 ρ_X/ρ_Y や、植生指数を用いた。これらの指数をピクセルごとに算出して、256階調のグレースケール画像38種類を作成した。Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)は、通常は近赤外線と可視光赤の反射率から算出される植生指数である。本研究では6バンドの可能な組み合わせ15通りでNDVIに類似した以下の指数を用いた。

$$NDVI_{X,Y} = \frac{\rho_X - \rho_Y}{\rho_X + \rho_Y}$$

ここで、 X と Y は組み合わせに使用したバンド、 ρ_X と ρ_Y はそれぞれバンド X と Y の反射率である。Pair-wise

Normalized Vegetation Index (PNVI)は3種類の反射率を組み合わせた植生指数で、NDVIと同様に植物の活性状態を把握でき、NDVIより植生と人工物の分離性能が高いとされる⁷⁾。以下の2種類のPNVIを用いた。

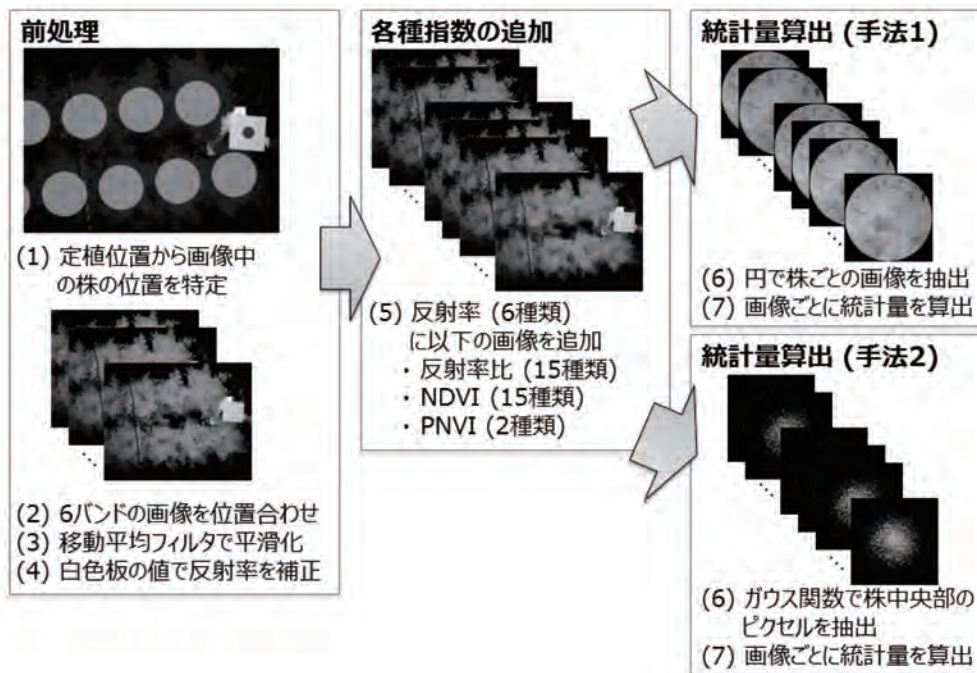


図4 マルチスペクトル画像の解析手順

$$PNVI_1 = \sqrt{\frac{|\rho_{NIR} - \rho_{RE}|}{|\rho_{NIR} + \rho_{RE}|} \frac{|\rho_{RE} - \rho_R|}{|\rho_{RE} + \rho_R|}}$$

$$PNVI_2 = \sqrt{\frac{|\rho_Y - \rho_{RE}|}{|\rho_Y + \rho_{RE}|} \frac{|\rho_{RE} - \rho_R|}{|\rho_{RE} + \rho_R|}}$$

ここで ρ_{NIR} , ρ_{RE} , ρ_R , ρ_Y はそれぞれ近赤外線, red edge, 可視光赤, 可視光黄の反射率である。

手順(6)では、芯により近い株中央部のピクセルに重要な情報が多く含まれ、周囲に行くほど芯腐れに関する情報が少なくなると想定し、以下の2手法で株ごとにピクセルを抽出した。

(手法1) 手順(1)で特定した株位置を中心とし、直径30cmを想定した円で画像をクリッピングして、円内の全ピクセルを抽出

(手法2) ピクセルのサンプリング率を上記の円の中心で100%、円周上で3.6%となるよう2次元のガウス関数を用いて設定し、ランダムサンプリングでピクセルを抽出

手順(7)では、手順(5)で作成した38種類の画像それぞれについて、手順(6)で抽出したピクセルの統計量を算出した。使用した統計量は、画像ごとに平均値, 標準偏差, 歪度, 尖度, 中央値, 最頻値(階級幅0.01)の6種類, 合計228種類である。

3.2 異常検知の分析手法

3.1 節で算出した統計量を説明変数として、自動分類手法で株の正常・異常を判別する分析を行った。分析に

は SPSS Modeler (Version 17.0) を使用し、内蔵されている 11 種類の自動分類手法である CART, CHAID, QUEST, C5.0, ベイジアンネット, ニューラルネット, デジションリスト, ロジスティック回帰, 判別分析, サポートベクターマシン (SVM), k 近傍法を用いた。分析対象の株は、図 2 の 159 株から画像に葉以外のものが写りこんでいた 13 株を除き、正常株 93 株, 異常株 53 株, 合計 146 株とした。合計株数が少ないため判別精度の評価には leave-one-out クロスバリデーション⁸⁾を用いた。

4. 分析結果

正常株を正常と判別できる精度(正常標本精度)が40%以上の自動分類手法のうち、異常株を異常と判別できる精度(異常標本精度)が高かった3手法を比較した。ピクセルの抽出に手法1を用いた場合の判別結果を次項の表1に、手法2を用いた場合の判別結果を表2にそれぞれ示す。表の精度の列は、上が異常標本精度, 下が正常標本精度である。

この結果から、分類木の一種である CHAID が、手法2を用いた場合に異常標本精度 83.0%で最良であることが分かった。ただし、Fisherの正確確率検定による検定では、手法1を用いた場合の CHAID の異常標本精度 73.6%と有意水準 5%で有意差は認められなかった。今回の分析では異常株数が 53 株であり、標本数が少なかつたため有意差が検出できなかったと考える。一方、SVM

表 1 自動分類手法による判別結果 (手法 1)

	CHAID		精度		SVM		精度		判別分析		精度
	判別結果 異常	正常			判別結果 異常	正常			判別結果 異常	正常	
異常株	39	14	73.6%	異常株	25	28	47.2%	異常株	24	29	45.3%
正常株	44	49	52.7%	正常株	29	64	68.8%	正常株	36	57	61.3%
合計	83	63		合計	54	92		合計	60	86	

表 2 自動分類手法による判別結果 (手法 2)

	CHAID		精度		SVM		精度		判別分析		精度
	判別結果 異常	正常			判別結果 異常	正常			判別結果 異常	正常	
異常株	44	9	83.0%	異常株	23	30	43.4%	異常株	23	30	43.4%
正常株	51	42	45.2%	正常株	33	60	64.5%	正常株	36	57	61.3%
合計	95	51		合計	56	90		合計	59	87	

と判別分析の異常標本精度はいずれも 50%未満であり、CHAID の異常標本精度が有意に高いことが分かった。

5. おわりに

本研究では、リモートセンシングにより得られる葉の反射率やその比、NDVI、PNVI などの植生指数を用い、それらの統計量からセロリの芯の正常・異常を判別することを試みた。分類木の一種である CHAID を用いることで、異常標本精度 83.0%で判別することができた。

今後の事業化に向けて、ドローンで撮影したセロリのマルチスペクトル画像を解析し、白化や芯腐れの異常を検知するクラウドサービスを検討している。近赤外線が撮影可能なマルチスペクトルカメラで、ドローンに搭載できる軽量の機種が農業に利用されるようになってきている。数 cm 程度の高い解像度で撮影できるため、本研究で行ったような一株ごとの正常・異常判別が可能になると考える。現場でカルシウム水溶液を散布する際に、判別結果をスマートデバイスで確認しながら異常と判別された株にだけスポット散布することで、対処のための作業コストを低減することができるようになる。

参考文献

- 1) 川城:新野菜づくりの実際 葉菜, 農山漁村文化協会, 2001 年
- 2) J. Franke 他: Multi-temporal wheat disease detection by multi-spectral remote sensing, Precision Agriculture, Vol.8, Issue 3, pp.161-172 (2007.6)
- 3) J. S. West 他: The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases, Annual Review of Phytopathology, Vol.41, pp.593-614 (2003.9)

- 4) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構, イネいもち病の被害度を判別するスペクトル指標 <http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyuhou/H11/tnaes99037.html> (2016 年 4 月 1 日閲覧)
- 5) 菊地 他:季節を考慮した農作物の生育予測手法の提案, 日立ソリューションズ東日本技報, 第 18 号, pp.6-10 (2012.11)
- 6) H. G. Jones 他: 植生のリモートセンシング, 森北出版, 2013 年
- 7) 風間 他: 特許第 5481140 号 スペクトル解析装置 (出願日 2009 年 9 月 28 日)
- 8) 井手 他: 異常検知と変化検知, 講談社, 2015 年



飯塚 新司 2008 年入社
研究開発部 研究開発グループ
農作物の病害検知技術および生育管理技術の研究開発
shinji.iizuka.zt@hitachi-solutions.com



手塚 大 1994 年入社
事業企画開発本部 研究開発部
研究戦略の立案, 研究開発の推進
masaru.tezuka.fd@hitachi-solutions.com