



Title	ブルーベリー栽培高度化のためのマシンビジョンによるモニタリング自動化に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	松岡, 和輝
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第15759号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/92029
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	MATSUOKA_Kazuki_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（農学） 氏名 松岡 和輝

審査担当者	主査	准教授	岡本	博史
	副査	教授	野口	伸
	副査	教授	岩淵	和則
	副査	准教授	石井	一暢（国際食資源学院）

学位論文題名

ブルーベリー栽培高度化のためのマシンビジョンによる モニタリング自動化に関する研究

本論文は 110 頁、図 38、表 18、5 章からなり、参考論文 1 編が付されている。

ブルーベリー栽培において花芽の形成や、果実の結実および熟成について圃場の細かなモニタリングと管理が重要である。花芽や果実のモニタリングは花芽数による早期収量予測、成熟果実数による収穫時期や収穫順序の決定など幅広い営農管理への利用が期待される。一方で、現状圃場モニタリングは人手によって行われているが、ブルーベリーは果樹 1 本あたり数百から数千もの花芽や果実をつけるため、データの取得には限界がある。そこで、花芽と果実を自動で認識・計数する技術の確立による、圃場モニタリングの自動化が求められている。本研究ではこうした圃場モニタリングの自動化には、物体検出 AI が有用であると考え、ブルーベリー圃場のモニタリングの自動化を目的として、物体検出 AI を用いた果樹ごとの花芽数と果実数の推定を実現するための研究を行っている。

物体検出 AI による花芽数と果実数の推定

まず、物体検出 AI の学習を行い、花芽検出モデルと果実検出モデルをそれぞれ作成し、果樹ごとの花芽数と果実数の推定可能性についての検討を行った。花芽については正常芽および凍害芽の検出と分類、果実については未熟果および成熟果の検出と分類を様々な解像度で検証した。その後、単回帰式を用いて画像中の花芽数と果実数を推定した。その結果、画像中の正常芽、成熟果、未成熟果の自動計数の精度は高い値を示したが、凍害芽については低い値を示した。花芽検出では精度指標 AP が最大で 0.755、回帰誤差指標 MAPE が最小で 10.79%、果実検出では AP が最大で 0.815、MAPE が最小で 23.84%であった。正常芽や果実の検出・分類には 640 × 640 ピクセルの低解像度の画像を用いた場合においても有用であることが明らかになった。そのため、計算能力の低いコンピュータを用いて場合においても、これらの検出・分類が実現可能であることが示唆された。一方で、凍害の検出精度を向上させるためには、高解像度画像の使用が有用であることが示唆されたため、今後凍害芽の高解像度画像を用意し、データ数を増やしてモデルの学習を行うことで、

凍害芽の高精度な検出が実現すると考えられる。

画像を用いた総果実数の推定に関する検証

結実期の葉によって一部の果実が隠れてしまうことが果実数推定に悪影響を及ぼす可能性が懸念されるため、こうした問題に対処するため本研究では果樹の葉の繁茂度合いや撮影方角が推定精度に与える影響を検討した。まず、撮影画像に映り込んだ果実数から葉に隠れた実を含む実際の総果実数を推定可能か検証した結果、画像中果実数と総果実数には正の相関が見られ ($R=0.96$ 、 $p<0.001$)、単回帰誤差は MAPE で 21.2% となった。これにより、画像を用いて果実数の推定を行う妥当性が示唆された。また、葉の被覆率が推定精度に与える影響について検証した。被覆率の高い群と低い群で単回帰誤差 (残差とその絶対値) を分類し、Mann-Whitney の U 検定を用いて統計解析を行った。その結果、二つの群に有意差が認められた。これにより、果実数推定の精度向上に葉の被覆率の考慮が有用であることが明らかになった。同様の検証を撮影方角および、撮影枚数 (樹列の片面と両面) についても実施した結果、本研究の実験条件においては撮影方角や撮影面数は果実数推定の精度に影響しないことが明らかになった。これにより、果樹ごとの果実数を推定する際は任意の樹列から 1 回のみ撮影すれば良いことが明らかとなったため、効率的な圃場モニタリングの実現が可能であることが示唆された。

圃場マッピングシステムの開発

物体検出 AI を用いた自動圃場モニタリングを実現するためには果樹ごとの画像を取得し、データの解析を行うことで実現すると考えられる。そこで本研究では圃場の動画撮影と位置データを取得し、果樹検出モデルとトラッキングアルゴリズムを用いて撮影された動画から果樹ごとの画像の自動取得を行い、果実検出モデルを適用することで解析結果のマップ化を行う圃場マッピングシステムを開発した。まず、小型電動運搬台車にカメラ、PC、RTK-GNSS を取り付けたデータ取得システムを作成した。そして果樹検出 AI モデルとカルマンフィルタなどを用いた果樹追跡アルゴリズムを作成し、果実検出モデルを組み込んだ圃場マッピングソフトウェアを開発した。これらを用いて樹列間を走行させて動画の取得とデータの解析およびマップの作成を行った。果樹検出モデルによる検出精度を AP や検出領域の精度指標平均 IoU で評価したところ、高精度な値を示した。また、果樹画像の自動取得の結果、最も精度が高い場合で 98 本の果樹のうち見落としした果樹が 1 本、重複した果樹が 1 本となり現場運用に十分な精度を達成した。検出した果樹画像に対して果実検出モデルを適用し、位置情報と組み合わせることで果樹ごとの総果実数のマップや成熟果実率のマップ化を実現した。

以上のように本研究はブルーベリー栽培における花芽、果実、果樹の認識を高い精度および十分な処理速度で実行できる新たな技術を開発しており、この成果は栽培現場への応用につながることを期待される。よって審査員一同は、松岡和輝が博士 (農学) の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。