

第80回九州農業食料工学会例会

令和8年度九州沖縄農業試験研究推進会
議農業機械・土木検討会

要旨集

第80回九州農業食料工学会例会
令和8年度九州沖縄農業試験研究推進会議農業機械・土木検討会
研究発表プログラム

【9月16日（水）】 ○印は講演者、1 演題の講演時間は12分、質問時間は3分、合計15分です

9：30～9：35	開 会 挨 拶	稲葉 繁樹（佐賀大農）
9：35～9：40	開催地 挨 拶	畑中 一広（大分県農林水産研究指導センター）
9：40～10：25	第一セッション	座長：日吉 健二（宮崎大農）
時間	講演番号	演 題
9:40	1	地球観測衛星「しきさい」データを用いた露地レタスの収量予測と栽培適地の推定 ○宮寄朋浩・森山雅雄 ¹⁾ (長崎農林技開セ畑作・ ¹⁾ アジア航測株式会社)
9:55	2	農業用温室内の内張カーテンへの結露に関する試算 ○平 栄蔵 (元宮崎県工業技術センター)
10:10	3	4台のRGBカメラを用いた限定空間内における飼育作業者の3次元姿勢推定 ー既知のカメラ配置を幾何拘束とする校正と実測による絶対精度検証ー ○牛尾浩亮・波平知之・鹿内健志 (琉球大農)
10：25～10：40	休 憩	
10：40～11：25	第二セッション	座長：平良 英三（琉球大農）
時間	講演番号	演 題
10:40	4	カルシウム散布によるイチゴ果房の物理的特性への影響 ○近藤翔・田中宗浩 (佐賀大農)
10:55	5	メタボローム解析によるトマト果実の打撲ストレス応答の評価 ○曾我部豪・佐藤優 ¹⁾ ・田中良奈 ²⁾ ・田中史彦 ²⁾ (九州大院生資環・ ¹⁾ 九州大農・ ²⁾ 九州大院農)
11:10	6	バイオスペックルを用いたトマトの打撲痕早期判別 ○林駿希・田中良奈 ¹⁾ ・田中史彦 ¹⁾ (九州大院生資環・ ¹⁾ 九州大院農)
11：25～11：40	休 憩	
11：40～12：16	ポスター発表者講演（1 課題 3 分・1 2 課題）	
12：16～13：20	昼 食	
13：20～14：20	ポスターセッション	
14：20～14：30	休 憩	
14：30～15：30	九州農業食料工学会 総会	
15：30～15：45	休 憩	
15：45～16：55	特別講演	司会：田中宗浩（佐賀大農）
15:45	開会挨拶	九州農業食料工学会会長 稲葉繁樹（佐賀大農）
15:50	特別講演1	「出荷後に赤くなるピーマンの流通低減を目的とした選果技術の開発 「そのピーマン、あとで赤くなります ～出荷後変色を見抜くAI画像分類の挑戦～」 大分県農林水産研究指導センター 農業研究部 スマート・バイオチーム 研究員 後藤航大 氏

「大分県農林水産研究指導センターにおける研究開発の取組」		
16:30	特別講演2	大分県農林水産研究指導センター 研究企画監 舟越雄二 氏

【9月17日（木）】 ○印は講演者、1 演題の講演時間は12分、質問時間は3分、合計15分です		
9：15～10：15 第三セッション 座長：田中 良奈（九州大院農）		
時間	講演番号	演 題
9:15	7	ビール醸造後の麦芽を用いた二相式メタン発酵条件の検討 ○中村奏太・下原日生利・松本憲幸 ¹⁾ ・Safna Navaratune ²⁾ ・田中宗浩 (佐賀大農・ ¹⁾ コトブキテクレックス・ ²⁾ 鹿児島大院連農)
9:30	8	糖混合液を用いた NIRS によるスクロース濃度推定に関する研究 ○安里優花・堀榮美希 ¹⁾ ・平良英三 ²⁾ (琉球大院農・ ¹⁾ 鹿児島大院連農・ ²⁾ 琉球大農)
9:45	9	異なる形態の物理的傷害がウンシュウミカン果皮の細菌群集構造に及ぼす影響 ○吉川英季乃・藏元理彩 ¹⁾ ・濱中大介 ²⁾ (鹿児島大院農林水・ ¹⁾ 鹿児島大院連農・ ²⁾ 鹿児島大農)
10:00	10	キュアリング処理による長期貯蔵コガネセンガンの品質特性および細菌叢構成の変動 ○藏元理彩・吉川英季乃 ¹⁾ ・中野浩平 ²⁾ ・濱中大介 ³⁾ (鹿児島大院連農・ ¹⁾ 鹿児島大院農林水・ ²⁾ 岐阜大院連農・ ³⁾ 鹿児島大農)
10：15～10：30 休 憩		
10：30～11：15 第四セッション（国際セッション） 座長：濱中大介（鹿児島大農）		
時間	講演番号	演 題
10:30	11	Mathematical Models for Individual Tomato Flower and Fruit Growth Indices Based on Cumulative Environmental Factors and Their Three-Dimensional Geometric Analysis ○Kalpani Abeysinghe, Cuong Chi Doan ¹⁾ , Munehiro Tanaka ²⁾ (The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, ¹⁾ Danang University, ²⁾ Graduate School of Agriculture, Saga University)
10:45	12	3D Volumetric Reconstruction and Phenotyping of Greenhouse Cucumber Canopies via Semantic Gaussian Splatting ○Dong Thanh Pham, Zaifei Jiang ¹⁾ , Muneshi Mitsuoka, Daisuke Yasutake, Takenori Ozaki ²⁾ , Masaharu Koga ²⁾ , Koichi Nomura ³⁾ , Takashi Okayasu ¹⁾ (Faculty of agriculture, Kyushu University, ¹⁾ Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, ²⁾ welzo Co., Ltd., ³⁾ Kochi University)
11:00	13	Development and Evaluation of A Scalable Generative AI Interface for Time-Series Data Visualization and Agricultural Knowledge ○Nayeen Al Amin ^{1, 2)} ・Masafumi Horimoto ^{1, 2)} ・Youto Sezaki ³⁾ ・Pham Thanh Dong ¹⁾ , Muneshi Mitsuoka ¹⁾ ・Daisuke Yasutake ¹⁾ ・Takenori Ozaki ⁴⁾ ・Masaharu Koga ⁴⁾ ・Takashi Okayasu ⁴⁾ (¹⁾ Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, ²⁾ Y S Lab LLC, ³⁾ Nagoya University, ⁴⁾ welzo Co., Ltd)
11：15～11：20 総評および閉会挨拶 田中宗浩（佐賀大農）		

ポスターセッション発表

Poster No.	演 題
1	マイクロインデンタ試験と機械学習を用いた三次元個別要素法パラメータ決定支援手法の検討 ○加藤豊大・岡安崇史 ¹⁾ ・金山素平 ¹⁾ ・Dong Thanh Pham ¹⁾ ・光岡宗司 ¹⁾ (九州大院生資環・ ¹⁾ 九州大院農)
2	物理的損傷の違いがウンシュウミカン果皮のストレス応答に及ぼす影響 ○若宮結衣 ¹⁾ ・吉川英季乃 ²⁾ ・藏元理彩 ³⁾ ・濱中大介 ¹⁾ (¹⁾ 鹿児島大農・ ²⁾ 鹿児島大院農林水研・ ³⁾ 鹿児島大院連農)
3	クリーク改修工事における建設機械の振動についての研究 ○田口晃士朗 ¹⁾ ・稲葉繁樹 ²⁾ (¹⁾ 佐賀大院農・ ²⁾ 佐賀大農)
4	マルチボディダイナミクスを用いた農業用車両のタイヤ分担荷重推定のための車両モデルの構築と妥当性検証 ○和知陸斗・Dong Thanh Pham ¹⁾ ・岡安崇史 ¹⁾ ・光岡宗司 ¹⁾ (九州大院生資環・ ¹⁾ 九州大院農)
5	NAS 法によるモデルレスなサトウキビ搾汁液中スクロースの定量 ○堀榮美希・安里優花 ¹⁾ ・平良英三 ^{1,2)} (鹿児島第院連農・ ¹⁾ 琉球大院農・ ²⁾ 琉球大農)
6	光触媒を用いたエチレン分解装置の性能評価および青果物の鮮度保持効果の検証 ○吉田光優 ¹⁾ ・山田暁 ¹⁾ ・松岡さやか ²⁾ ・岡崎真也 ²⁾ ・近藤拓海 ²⁾ ・田中良奈 ³⁾ ・田中史彦 ³⁾ (九大院生資環・ ¹⁾ 九大院農・ ²⁾ シャープ(株)・ ³⁾ 九大院農)
7	高耐熱性フラットサワー菌 <i>Geobacillus stearothermophilus</i> 芽胞に対する高圧乳化剤併用処理の効果 ○林大雅・松尾和樹・片渕愛賀 ¹⁾ ・江口舞 ¹⁾ ・濱中大介 (鹿児島大農・ ¹⁾ 鹿児島大院農水研)
8	電場処理がハウレンソウのクロロフィル含量とその分解関連遺伝子の発現に及ぼす影響 ○牧山瑞樹 ¹⁾ ・井手雛子 ²⁾ ・藏元理彩 ³⁾ ・濱中大介 ¹⁾ (鹿児島大農 ¹⁾ ・鹿児島大院農水研 ²⁾ ・鹿児島大院連農 ³⁾)
9	超音波センサによる水位計測を用いた排液量計測装置の開発 ○谷侑樹・藤本社史・堀本正文・Pham Thanh Dong ¹⁾ ・光岡宗司 ¹⁾ ・岡安崇史 ¹⁾ (九州大院生資環・ ¹⁾ 九州大院農)
10	畜舎見回りロボットのためのフュージョンセンシング技術の検討 ○中島歩夢・桜井大翔 ¹⁾ ・Sutan Muhamad Sadam Awal・Pham Thanh Dong ²⁾ ・光岡宗司 ²⁾ ・岡安崇史 ²⁾ (九州大院生資環・ ¹⁾ 株クボタ・ ²⁾ 九州大院農)
11	マイコンを利用した非破壊糖度センサの開発 ○新里良章・松浦竜之介・Akeme Cyril Njum ¹⁾ ・平良英三 (琉球大農・ ¹⁾ 鹿児島第院連農)
12	NIR Spectroscopy for Quality Evaluation of First-Milled Sugarcane Juice under Different Milling Machine Adjustments ○Akeme Cyril Njume, Yoshiaki Shinzato ¹⁾ , Eizo Taira ¹⁾ (The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, ¹⁾ Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus)

口頭発表

地球観測衛星「しきさい」データを用いた露地レタスの収量予測と栽培適地の推定

○宮寄朋浩，森山雅雄¹⁾
 (長崎農林技開セ畑作，¹⁾ アジア航測株式会社)

【目的】

気候変動が農業生産へ与える影響が懸念される中，広域・高頻度に観測可能な衛星リモートセンシングの農業利用が注目されている。JAXA の地球観測衛星「しきさい (GCOM-C)」は，日本全域を約 2 日に 1 回観測し，地表面温度などの気象情報を提供する。

本研究では，「しきさい」の地表面温度と曇天率を用い，諫早湾干拓圃場の露地レタス収量との関係を明らかにするとともに，収量予測モデルを構築し，栽培適地推定の基礎を検討した。

【材料および方法】

1) 使用データ

衛星データは「しきさい」の地表面温度（日中・夜間の平均・最高）と曇天率（日中・夜間）の計 6 項目（2018～2024 年）を 250m メッシュで使用した。作物データは，諫早湾干拓圃場における 2018～2024 年の 12 月どり露地レタスの商品収量 (kg/10a) を用いた。

2) 解析方法

各栽培年の定植から収穫期間に対応する衛星データを抽出し，各月の平均・最大・積算値をそれぞれ算出した。得られた計算データと商品収量の相関分析を行い，相関係数が高い指標を説明変数として単回帰分析を行い，商品収量を予測する回帰式を作成した。さらに目標商品収量 (4000kg/10a) に対する各指標のしきい値を求め，オープンソース GIS ソフトウェアである QGIS (ver. 3.34) を用いて空間解析を行い，長崎県内でのレタス栽培に適する場所を可視化した。

【結果および考察】

12 月どり露地レタスの商品収量は 10 月の日中曇天率と強い負の相関関係 ($r=-0.922$)，11 月の日中地表面最高温度と強い正の相関関係 ($r=0.785$) を示した。

10 月の日中曇天率を説明変数とする回帰式は $y = -3876.9x + 6419.4$ ($R^2=0.85$) で，目標商品収量 4000kg/10a には曇天率 62.4%以下が必要と推定された (図 1)。11 月の地表面最高温度を説明変数とする回帰分析では， $y = 419.6x - 120571.2$ ($R^2=0.62$) となり，目標商品収量には 298.8K (23.8℃) 以上が必要と推定された。

QGIS 用いて両指標のしきい値条件を満たす領域を抽出し，長崎県内における 12 月どり露地レタスの栽培適地を可視化した。

本研究で得た収量予測モデルは気象条件のみに基づく推定であり，土壌条件・排水性・地形等の要因は考慮していない。今後はこれらの要素も加味することで，実際の栽培環境により適合した適地判定が可能になると考えられる。

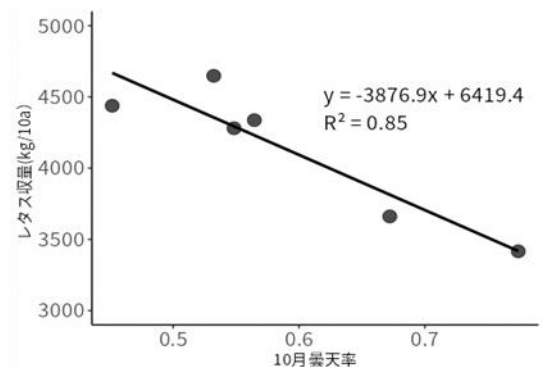


図 1 10 月の日中曇天率とレタス商品収量

農業用温室内の内張カーテンへの結露に関する試算
○平 栄蔵(シルバー会員 宮崎県工業技術センターOB)

【はじめに】

農業用温室内の内張カーテン下面への結露について、①岡田の論文(1)をベースに、②カーテン下面に結露水膜が付着した時の被覆材の長波放射特性変化を仮定し、③青木(2)の熱および物質移動の計算式を導入した計算プログラムを作成。これを用いて、カーテン下面への結露がない時(ドライ時)と、結露水膜が付着した時の温室からの放熱量等を試算。さらに温室被覆材の組み合わせの影響を試算したので、報告します。

【計算方法の検証】

図1は岡田の計算法のトレース結果を示す。青線と赤線がほぼ一致。

図2は、今らの結露実験のトレース結果。結露水膜が付着した際の長波放射特性値の仮定が妥当であると考えられる。

【試算の結果と考察】

図3は、温室の保温用被覆材として、外フィルムおよび内張カーテン両方にPVCを用いた場合。温室内気温を15℃、室内相対湿度を40%から100%まで変えた場合を試算。青線はドライの場合の放熱量で、緑線は結露水膜が付着した場合の試算。赤線はドライから結露状態への移転経路。温室内相対湿度60%付近でカーテン下面に結露水膜が付着。天空への放熱熱が抑制され、また温室内相対湿度が高くなると結露に伴う熱移動が増加し、放熱量が増えると考えられる。

図4は、保温用被覆材の組み合わせの影響を試算。この試算ではPVC,PE,G(ガラス)を選び、岡田の論文の光特性値を採用。被覆材の組み合わせの前者は外フィルムで、次いでカーテン。試算により、9種類の被覆材の組み合わせは、図4のように3タイプに分かれた。赤線はドライ時の放熱が大きく、結露開始より大きく放熱量が減少。こ

の組み合わせは(G+PE,PE+PE,PVC+PE)で、いずれもカーテンがPEの場合。青線は結露開始で放熱量がわずかに減少。この組み合わせは(G+PVC,PE+PVC,PVC+PVC)で、いずれもカーテンがPVCの場合。緑線は結露開始より放熱量がわずかに増加。この組み合わせは(PVC+G,G+G,PE+G)で、いずれもカーテンがGの場合。詳細は例会会場にて。

【まとめなど】

カーテン下面への結露水膜の影響について試算した。いずれにしても実験検証が必要。よろしくお願いいたします。

文献

論文(1) 岡田 農業気象 37(3) 221-230 1981

論文(2) 今ら 農業気象 41(2) 115-120 1985

論文(3) 青木 機論 20巻 96号(第2部)昭 29

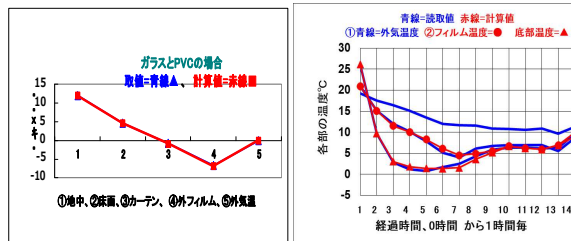


図1 岡田の論文検証 図2 今らの論文検証

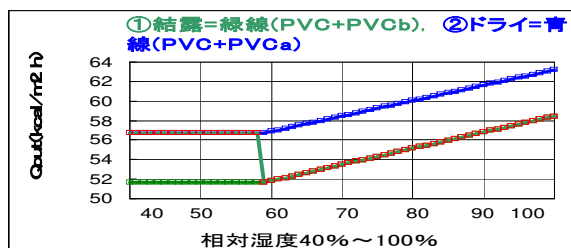


図3 ドライ時と結露付着時の放熱量の試算

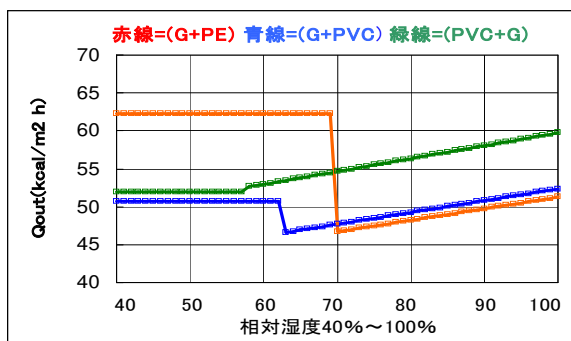


図4 保温用被覆材の組み合わせに関する試算

4 台の RGB カメラを用いた限定空間内における飼育作業者の 3 次元姿勢推定 — 既知のカメラ配置を幾何拘束とする校正と実測による絶対精度検証 —

○牛尾浩亮・波平知之・鹿内健志
(琉球大農)

【はじめに】

畜産の現場では労働力不足と高齢化により作業負荷が増大し、大型家畜との接触による安全上のリスクも大きい。各関節の 3 次元位置の時系列、すなわち 3 次元骨格を定量化できれば、作業負荷の評価や安全管理の基礎データが得られる。しかし深度センサや光学式モーションキャプチャは高価で可搬性に乏しく、牛舎のような既設環境への展開が容易でない。そこで本研究では、深度センサを用いない 4 台の RGB カメラのみから作業者の 3 次元骨格を全フレーム復元し、寸法としての正しさ、すなわち絶対精度を実測値との照合で検証した。

【材料および方法】

屋内実験室に、RGBアクションカメラ4台で囲んだ6000×1700 mmの区画を設け、限定空間とした。4台は真上から見て長方形の4隅に高さ1400 mmで設置した。解像度1920×1080 px, 60 fpsで作業者1名の歩行動作を151 s, 1カメラあたり9060フレーム記録し、収録音声の波形で4台の映像を同期させた。

内部パラメータはChArUcoボードによる単眼校正で求め、外部パラメータは、カメラ配置が既知の長方形であるという幾何拘束のもとで再校正した。2次元姿勢はYOL0v8nとRTMPose-mで推定し、左右の肩、肘、手首、腰、膝、足首の12関節を用いた。3次元復元には全フレームの3次元点を同時に解く時空間正則化付き一括三角測量を用い、目的関数は再投影項、時間平滑項、骨長一定項、膝の過伸展抑制項の和とした。骨長は時間的に一定であるべきため、主精度指標には標準偏差を平均で除した骨長の変動係数を用いた。

【結果】

骨長の変動係数の中央値は、改良前の21.3 %から、検出枠のパディングと追跡を

用いない処理で16.2 %, RTMPose-mへの置換で9.9 %, 一括三角測量で1.05 %へ段階的に改善した(図1)。従来の直接線形変換で12関節がそろそろフレームは9,060中1,699であったが、一括三角測量では全フレームで有効となった。幾何拘束付きの再校正では、再投影誤差の中央値が30.1 pxから9.4 px, キーポイント有効率が46.5 %から90.5 %へ改善した。

復元した骨長と実測値の照合結果を図2に示す。末梢側の骨である前腕は-0.3 %, 下腿は-1.6 %でほぼ一致し、体幹側の骨である上腕は+5.4 %, 大腿は+6.1 %と過大であった。ただし左右差は1.2 %未満で、4骨が同符号にずれてはおらず、また身体寸法とは独立にカメラ高さは4台すべてで物理値1400 mmと±5 mmで復元した。したがってこの過大はスケール誤差ではなく、実測の解剖学的ランドマークとキーポイント定義の差によるオフセットと考えられる。

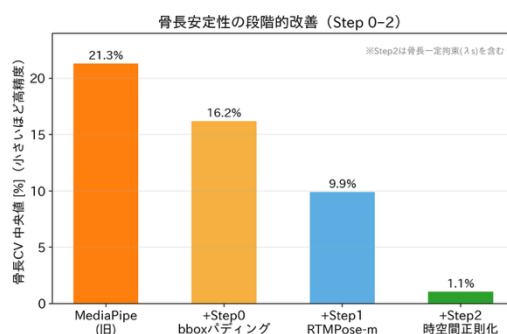


図1 骨長 CV (中央値) の段階的改善

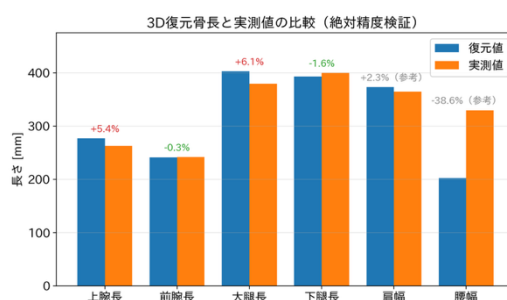


図2 復元骨格と実測値の比較

カルシウム散布によるイチゴ果房の物理的特性への影響

○近藤翔, 田中宗浩

佐大農

【はじめに】

イチゴ果房は柔らかく軟化しやすいため、貯蔵や輸送時に果房の損傷・劣化が起きやすい。果実の軟化は、細胞間層のペクチンが分解可溶化されることで発生すると考えられており、ペクチンの可溶化は金属イオンから架橋されていないペクチン画分から優先的に起こるため、非架橋ペクチンの可溶化を抑制することが果実硬度の維持に有効であると考えられる。当研究室では、イチゴ果房中のペクチン及びカルシウムの関係を調査しており、その結果、低分子化したシュウ酸可溶性ペクチン (OSP) にはカルシウムが有意に多く含有していることを確認している。また、前年度の研究により、100ppm の塩化カルシウム (CaCl_2) 水溶液を果房へ直接散布することによって、果房の初期硬度が有意に上昇したことが確認されたが、ペクチン画分に着目した分析は行われていない。そこで、本研究は CaCl_2 水溶液をイチゴ果房へ直接散布し、果房中のペクチン画分への影響を検討した。

【材料および方法】

供試品種は「いちごさん」とし、佐賀大学農学部圃場内の丸屋根式温室に設置した高設栽培ベッド (長さ 1100cm, 幅 20cm, 高さ 80cm, 4 列) を用いた固形培地耕で栽培した。固形培地は、籾殻燻炭 (R)、発酵杉樹皮 (B) を使用した。果房へ散布する CaCl_2 水溶液は 100ppm で作成し、肥大生育初期の果房に一度だけ果房全体が濡れるように散布した。散布したイチゴを Ca 散布区、散布していないイチゴを無散布区とした。栽培期間は 2024 年 11 月から 2025 年 4 月、サンプリング期間は 2025 年 3 月 20 日から 2025 年 4 月 20 日とした。測定項目は、生体重、貫入試験による

初期硬度及び平均硬度、果房部位 (芯、皮層) のアルコール不溶固形物 (AIS), 水溶性ペクチン (WSP), シュウ酸可溶ペクチン (OSP) の含有量, 各抽出画分のガラクトロン酸 (GA, $\mu\text{g}/\text{ml}$) とした。GA は各画分のペクチン量と見なした。

【結果及び考察】

Ca 散布区及び無散布区の果房硬度を比較した結果、Ca 散布区は初期硬度 ($5.07^{\text{a}} > 4.57^{\text{b}}$), 及び平均硬度 ($0.85^{\text{a}} > 0.79^{\text{b}}$) が有意に増加し、Ca 散布が果房の硬度維持に寄与することが示唆された。果房から抽出した AIS, WSP, および OSP を、芯と皮層に分けて 8 試験区間で比較した。果房軟化の進行程度は、WSP/AIS 及び OSP/AIS から推察できる。そこで、培地及び培養液の違いを考慮せず、全サンプルにおける Ca 散布区・無散布区の 2 区間で両比率を比較したが、有意差は確認されなかった。

Ca 散布によるペクチン架橋形成へ及ぼす影響を明らかにするため、WSP 及び OSP 画分のペクチン主鎖を構成する GA 濃度を計測し、試験区間及びサンプル間で比較した。その結果、無散布区の果房において、芯では有意差は認められなかったが、皮層の GA 濃度は、WSP ($49^{\text{a}} \mu\text{g}/\text{ml}$) $>$ OSP ($35^{\text{b}} \mu\text{g}/\text{ml}$) となり、WSP の GA 濃度が有意に高く、果房の軟化が進んだことが示唆された。

以上から、Ca 散布区のイチゴ果房は、皮層の GA 濃度が有意に増加せず、皮層ペクチンの可溶化が抑制され、果房の硬度を維持させていたことが示唆された。これは、散布した Ca が果房の内部へ浸透し、ペクチンと架橋を形成することで、OSP から WSP への可溶化を抑制したことが原因であると推測された。

メタボローム解析によるトマト果実の打撲ストレス応答の評価

○曾我部豪¹⁾・佐藤優²⁾・田中良奈³⁾・田中史彦³⁾
 (九大院生資環¹⁾・九大農²⁾・九大院農³⁾)

【はじめに】

トマトは国内で広く生産・流通される重要な園芸作物であるが、収穫後の輸送や選果工程では外力による打撲が生じやすく、品質低下や商品価値の低下につながるものが課題となっている。しかし、外観上の変化だけでは把握できない果実内部の生理・代謝応答については十分に解明されていない。

近年、メタボローム解析は植物の代謝変動を網羅的に評価できる手法として注目されているが、トマト果実の打撲ストレス応答を一次代謝物レベルで評価した報告は限られている。そこで本研究では、打撲処理を施したトマト果実を対象に GC-MS/MS を用いたメタボローム解析を実施し、打撲ストレスに伴う代謝変動を明らかにするとともに、品質評価への応用可能性について検討する。

【材料および方法】

供試材料には市販のトマト果実を用いた。試料調製方法がメタボローム解析結果に及ぼす影響を評価するため、果実をそのまま分析した Control 区と、果実全体を均質化した Paste 区を設定した。各試料は -60 °C で予備凍結した後、凍結乾燥および粉碎を行い、乾燥試料 10 mg と内部標準物質としてリビトール 10 μ L をチューブに加えた。次に、水・メタノール・クロロホルム混合溶媒を用いて代謝物を抽出し、遠心分離後に親水性画分を回収して真空乾燥した。乾燥後、メトキシアミン塩酸塩をピリジンに溶解した試薬を加えてオキシム化を行い、続いて MSTFA を添加してトリメチルシリル化を行った。誘導体化した試料を GC-MS/MS (トリプル四重極型ガスクロマトグラフ質量分析計, 島津 GCMS-TQ8040) に注入し、スキャンモードで測定した。

得られたデータは SHIMADZU Smart Metabolites Database を用いて成分同定を行い、内部標準物質によりピーク強度を標準化した後、MetaboAnalyst 6.0 を用いて Auto Scaling による正規化を行い、主成分分析 (PCA) お

よび Partial Least Squares-Discriminant Analysis (PLS-DA) により各試料の代謝物プロファイルの評価した。

【結果】

PCA の結果、PC1 および PC2 の寄与率はそれぞれ 52.1 % および 20.5 % であり、累積寄与率は 72.6 % であった。スコアプロットでは Control 区と Paste 区が PC1 方向で明瞭に分離し、試料調製方法が代謝物プロファイルに影響を及ぼすことが示された。

また、Control 区でのみ検出された代謝物は 7 種類、Paste 区でのみ検出された代謝物は 22 種類であった。これらの代謝物には、糖類、有機酸、アミノ酸などが含まれており、試料調製方法によって検出される代謝物の種類が変化することが明らかとなった。以上より、メタボローム解析において試料調製方法は解析結果に影響を及ぼす重要な要因であり、本研究で得られた知見は、今後トマト果実の打撲ストレス応答を評価する際の基礎的知見として有用であると考えられた。

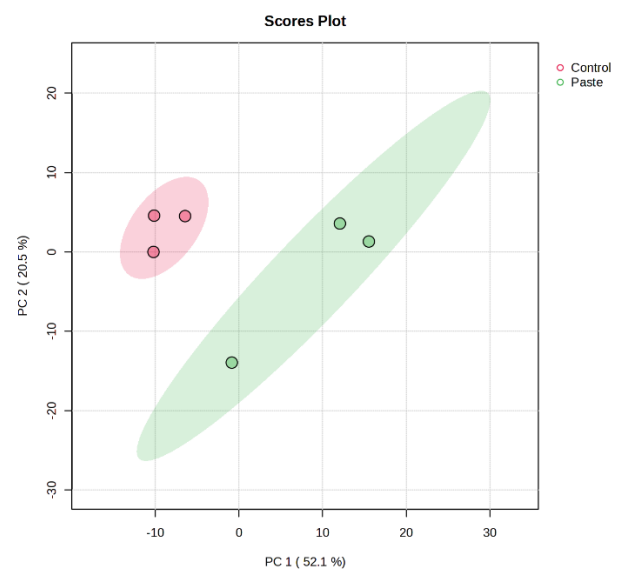


図1 Control 区および Paste 区の主成分分析 (PCA) スコアプロット

バイオスペックルを用いたトマトの打撲痕早期判別

○林駿希・田中良奈・田中史彦
(九大院生資環・九大院農・九大院農)

【はじめに】

近年,大量廃棄,特に食品廃棄が深刻化している。青果物は収穫後の貯蔵・輸送過程で劣化しやすく,機械的損傷による損失は収穫後損失全体の30~40%に及ぶ(Fanyi Liu, 2025)。そのため,青果物の劣化や異常を非破壊で検出する技術が求められている。本研究では,レーザー光の散乱光干渉によって生じ,内部の代謝活動や細胞運動を反映する動的な斑点模様であるバイオスペックル(相津, 1990)に着目した。トマトでは,外観から判別困難な軽微な打撲でも,ストレス応答によりエチレン生産量や呼吸量が増加し,保存期間が短縮する。さらに,損傷果を健全果と同梱すると,健全果の成熟を早める可能性がある。そこで,バイオスペックル法を用いたトマトの打撲損傷の早期判別を目的として実験を行った。

【材料および方法】

福岡県産トマトを28果を使用した。28果のトマトを3つのグループ(control 9果,bruise 9果,bruise2 10果)に分類した。b1にはトマト表面より5 cm,b2は3 cmの高さから打撲を行った。貯蔵初日を0日目として7日目まで8日間の貯蔵を行った。試験項目は質量,色彩,BS撮影とし,0日目においては打撲前後の色彩,BSの撮影を行った。バイオスペックルの解析には藤居法,振幅累積和法を使用した。藤居法は任意画像の全てのピクセルにおいて,それらの時間的輝度変動を定量化することにより生体活動の活動度を評価する手法である。振幅累積和法は,1つのピクセルについて,時系列画像の明度の変化量をフレームごとに計算し,それをすべて足し合わせた値を活動度として使う方法である。

【結果】

7日間の貯蔵試験において,質量損失は対照区,3 cm打撲区,5 cm打撲区の順に大きくなり,測定期間中にこの順序が逆転することはなかった。一方,色彩値は試料ごとの

初期差が大きく,打撲条件による明確な違いは確認されなかった。藤居指数および振幅累積和2-3 Hzは,貯蔵期間を通して増減を繰り返しながら,全体として減少する傾向を示した。また,打撲1日後には対照区と打撲区との間に値の乖離が認められた。打撲前後の値についてt検定を行った結果,打撲直後では3 cm打撲区の藤居指数に1%水準で有意差が認められた。さらに,打撲1日後では3 cmおよび5 cm打撲区の藤居指数と振幅累積和2-3 Hzに5%水準で有意差が認められた。加えて,振幅累積和の変化率の変動係数は,1日目において対照区よりも打撲区でばらつきが大きくなる傾向を示した。以上より,バイオスペックル特性値は,外観から判別しにくいトマトの打撲に対して,打撲直後から1日後の変化を捉えられることが示された。

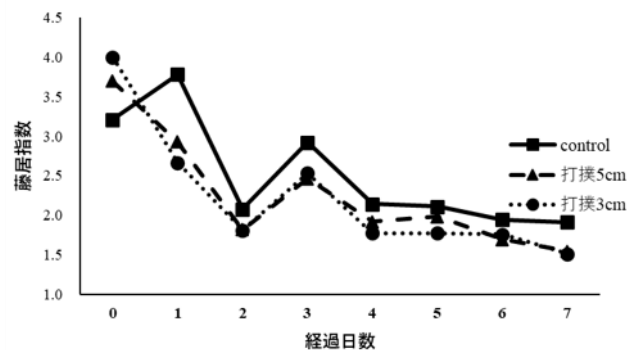


図1 藤居指数の経日変化

【考察および結論】

打撲直後および1日後にバイオスペックル特性値の差が認められたことから,打撲に伴う細胞内の微小運動の変化が外観変化に先行して検出された可能性がある。藤居指数,振幅累積和2-3 Hzそれぞれで有意差が認められる特性値が異なることから,この2値を組み合わせることでより正確な打撲有無の推定が出来る可能性が示唆された。今後はサンプル数の増加や,解析パラメータを増やし,より精度の高い打撲痕判別を行う予定である。

ビール醸造後の麦芽を用いた二相式メタン発酵条件の検討

○中村奏太・下原日生利・松本憲幸¹⁾・Safna Navaratune²⁾・田中宗浩
(佐大農・コトブキテクレックス¹⁾・鹿大連大²⁾)

【はじめに】

メタン発酵は、廃棄物中の炭水化物をエネルギー源として有効利用でき、消化液は液肥として再利用可能であるため、資源循環型社会の構築に寄与する技術として期待できる。そこで、本研究はビール醸造後に発生する麦芽残渣のメタン発酵への利用可能性を確認した。麦芽残渣の炭水化物は繊維分が主であり、加水分解に長時間を要する。その結果、一相式メタン発酵ではメタン生成菌が必要とする可溶性炭素源の供給速度が不足し、メタンの発生が見込めない懸念がある。そこで本研究では、酸発酵とメタン発酵からなる二相式発酵を採用し、パン粉を共発酵基質として添加し、パン粉添加量と消化液中の有機酸生成およびメタンガス発生量の関係を検討した。

【材料および方法】

本研究の供試材料は、ビール醸造後の麦芽残渣、食パン残渣とした。食パン残渣は、乾燥後に粉末化した。メタン発酵消化液は、佐賀大学農学部圃場内の水路沈降汚泥を種菌として36℃で馴養して作成した。

酸発酵試験は500mlプラスチックボトルを36℃のウォーターバス内に設置して実施した。基質混合比は、麦芽量50g (DM10.85g) に対し、パン粉0g (0g区)、5g (5g区)、10g (10g区)、15g (15g区) (DM) とし、消化液を200ml加え、全体容積400mlまで加水した。対照区は、麦芽およびエタノールを用い、C/N比25へ調整した。各試験区は3反復とした。パン粉添加量と有機酸発生量の変化を検討した。

メタン発酵試験は、酸発酵試験と同様の500mlボトルを用いて36℃で実施した。ボトル蓋上にシリコンチューブを接続し、ボトル側壁に酸発酵液を供試するためのチューブを装着した。各ボトルの消化液量は400mlとした。発酵基質は酸発酵液を用いた。試験区は、酸発酵試験の5試験区に加え、消化液のみの対照区を追加して6試験区とした。バイオガスは水上置換法で捕集した。pHの急激な低

下を防ぐため、開始後19日間は3日に1回、20日目以降は2日に1回、各ボトルへ酸発酵液0.5mLずつを供試した。メタン発酵の試験期間は34日間とした。分析項目は、乾燥重量(DM)、全窒素(TkN)、アンモニア態窒素および硝酸態窒素、有機酸、全リン(P)、炭水化物(DOM)、炭素(DOC)、繊維(CF)、乾物消化率、バイオガス発生量、メタン及び二酸化炭素濃度とした。

【結果】

酸発酵のpHは12日間で安定し、0g区6.14、5g区4.86、10g区4.00、15g区4.00、エタノール区5.37となった。以上から、パン粉の添加が多いほどpHが低下することが確認された。酸発酵液中の有機酸の測定結果を表1に示した。酸発酵液からは、酢酸、乳酸、シュウ酸が検出された。メタン生成菌が優先的に資化する酢酸は5g区が最大となった。供試固形物の総消化率(%db)は、0g区及び5g区が約46%、10g区及び15g区が約27%、エタノール区が44.8%であった。

表1 酸発酵共消化試験における各試験区の有機酸濃度(%)

試験区	シュウ酸	乳酸	酢酸	総有機酸量
0g区	0.490	2.958	0.636	4.550
5g区	0.763	3.343	1.113	5.430
10g区	1.139	9.403	0.875	11.400
15g区	1.619	17.937	0.961	20.500
エタノール区	0.496	3.310	1.507	5.310

メタン発酵試験の結果、総メタン発生量は0g区：680ml、5g区：774ml、10g区：720ml、15g区：746ml、エタノール区：303ml、対照区：491mlであり、エタノール区を除いて5g区が最大となった。これは5g区の酢酸濃度が最大となった点と一致する。

以上の結果から、麦芽50gに対してパン粉を5g添加する共発酵条件において最も高い酢酸及びメタン発生量が観察され、メタン発酵に最も有効であることが確認された。今後は、麦芽残渣消化液の農地還元に向けた肥効評価を行う必要がある。

糖混合液を用いた NIRS によるスクロース濃度推定に関する研究

○安里優花・堀榮美希¹⁾・平良英三²⁾
(琉大院農・¹⁾ 鹿大連農・²⁾ 琉大農)

【はじめに】

現在、サトウキビの買取価格は品質を基準に取引されており、指標となるスクロース濃度の測定には近赤外分光計が利用されている。推定には化学分析に基づく検量モデルが必要だが、その維持管理には多大なコストと労力がかかる。検量モデルの推定精度は、使用する波長域の選択に大きく依存し、糖の C-H 結合に由来する吸収は、近赤外領域の複数の帯域（第三倍音・第二倍音・第一倍音・結合音）に現れることが知られている。

そこで本研究では、糖混合液から作成した PLS 回帰モデルにサトウキビ搾汁液を当てはめ、4 つの吸収帯域を比較するとともに、成分の組成が異なる糖蜜サンプルによる汎用性の確認も行った。

【材料および方法】

測定試料として、検量モデル作成用の糖混合液 (n=15, 各サンプル 2 回測定により n=30)、評価用のサトウキビ搾汁液 (n=55)、評価用の糖蜜 (1 番蜜～3 番蜜, 計 n=23) を用いた。分析装置には近赤外分光計を用い、得られたスペクトルについて、C-H 結合の吸収に由来する 4 つの波長帯、第三倍音 (850-950 nm)、第二倍音 (1150-1250 nm)、第一倍音 (1550-1750 nm)、結合音 (2250-2400 nm) を選択し、各帯域に適したセグメント幅で二次微分処理を行った後、PLS 回帰分析による検量モデルを構築した。モデル作成には糖混合液のみを用い、構築したモデルの評価には搾汁液・糖蜜それぞれに対する決定係数 (R^2)、二乗平均平方根誤差 RMSEP, Bias を用いた。

【結果】

搾汁液に 4 帯域のモデルを適用した結果、第一倍音域で最も高い精度が得られた ($R^2=0.92$, RMSEP=0.55)。吸収の強い C-H 伸縮振動由来のバンドで信号がノイズに埋もれにくいためと考えられる。第三倍音域は吸収が弱く精度が大きく低下し ($R^2=-26.59$, RMSEP=9.92, $r=0.31$)、相関自体がほぼ失われていた。第二倍音域も精度は低いが

($R^2=-3.85$, RMSEP=4.16), 相関は高く ($r=0.88$), 予測値が系統的に高くなるズレ (Bias=+4.03) が原因であった。結合音域は搾汁液では良好であった ($R^2=0.79$, RMSEP=0.86)。糖蜜でも第一倍音が最も精度が高く ($R^2=0.91$, RMSEP=0.45), 第三倍音が最も低かった ($R^2=0.40$, RMSEP=1.17)。第二倍音は中間的な精度 ($R^2=0.73$, RMSEP=0.79) で、結合音は搾汁液では良好であった一方、糖蜜では相関は高い ($r=0.92$) ものの予測値が系統的に高く (Bias=+2.27), 精度が大きく低下した ($R^2=-1.46$, RMSEP=2.37)。

両者の差は、清浄前の搾汁液に残る懸濁粒子による光散乱が第二倍音での系統誤差を招いた一方、結合音は水の O-H 吸収と重なりやすく、水分含量が異なる糖蜜では水由来の情報が転移しにくいこと、さらに標準液の濃度範囲 (10-22%) が糖蜜の実測範囲 (5.29-9.98%) を上回り、範囲外予測となったことが要因と考えられる。以上より、吸収強度の強い第一倍音は試料によらず精度が良好であった一方、吸収の弱い帯域や水分の影響を受けやすい帯域では、試料の性状や組成の違いに応じて精度低下の様相が異なることが示された。

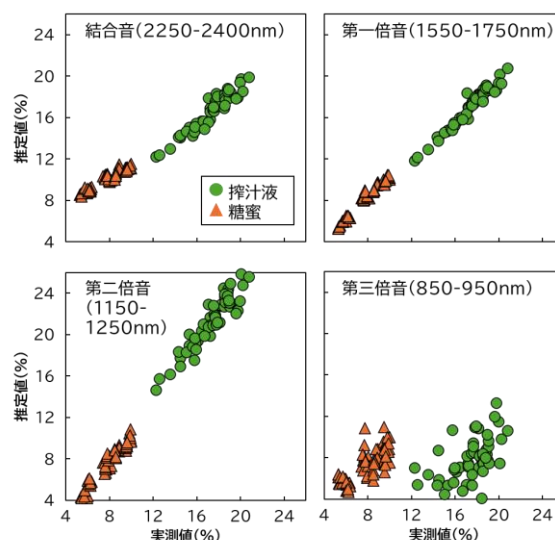


図 1. 各 C-H 吸収帯域におけるサトウキビ搾汁液と糖蜜中のスクロース濃度の推定結果

異なる形態の物理的傷害がウンシュウミカン果皮の細菌群集構造に及ぼす影響

○吉川英季¹⁾・藏元理彩²⁾・濱中大介³⁾
(鹿大院農水研¹⁾・鹿大院連農²⁾・鹿大農³⁾)

【はじめに】

ウンシュウミカンは、収穫時だけでなく、選果や輸送などの過程において様々な物理的作用を受け、果皮に傷害を生じることがある。このような傷害は外観品質を低下させるだけではなく、果皮組織内部の成分が外部に漏出するなど傷害部には健常部と異なる局所的な環境が形成されることが考えられる。また、果皮の傷害は微生物の侵入やその後の腐敗発生の要因となり得る。

ウンシュウミカンの果皮表面には、栽培環境に由来する微生物に加え、収穫やその後のハンドリング過程を介して付着する微生物など、多種多様な微生物が存在しており、傷害による果皮組織の破壊は、これらの微生物群集にも影響を及ぼす可能性がある。しかし、ウンシュウミカンにおいて、傷害が傷周辺の細菌群集構造に及ぼす影響については十分に明らかにされていない。そこで本研究では、異なる形態の傷害を付与したウンシュウミカン保存し、傷害部の細菌群集構造を解析することで、物理的傷害が果皮の細菌群集構造に及ぼす影響を検討した。

【材料および方法】

供試材料として、鹿児島大学周辺の小売店で購入した熊本県産のウンシュウミカン (*Citrus unshiu* Marc. 'Aoshima unshu') を使用した。果皮中央部 (1.5 × 3 cm) に擦過傷または刺し傷を人工的に付与し、無傷の健常果とともに 12 °C で 3 週間保存した。保存中の傷害部の変化を評価するため、果皮表面の外観および自家蛍光の観察と細菌群集構造を解析した。果皮表面の観察は、傷害処理直後および保存 3 週目に明視野下および 365 nm の紫外線照射下で撮影することにより行った。傷害周辺の細菌群集構造解析には保存 3 週目の健常部位、擦過傷部位および刺し傷部位から採取した果皮を用いた。DNA 抽出キット (Fast DNA Spin Kit for soil) を用いて DNA を抽出し、池永らの手法に準拠して LNA を用いた PCR クランプ法により植物由来配列の増幅を抑制し、細菌 16S rRNA 遺伝子の V3-

V4 領域を増幅した。得られた増幅産物を次世代シーケンサー (MiSeq) により解析し、Greengene による属レベルでの相同性解析を行い、細菌群集構造を比較した。

【結果】

果皮表面を観察した結果、明視野では保存に伴う外観変化は認められなかったが、365nm の紫外線照射下では傷害処理直後の傷害部位で明瞭な自家蛍光が認められた。しかし、保存 3 週目には傷害部位の蛍光が弱まり、傷害部位だけでなく、その周囲にも弱い蛍光が見られた。このことから、傷害に伴う果皮内部の蛍光物質を含む内容成分の漏出やその後の状態の変化が示唆された。

保存 3 週目における傷害部の細菌群集構造解析の結果、*Pseudomonas* 属および *Sphingomonas* 属は傷害の有無に関わらず高い相対存在比を示した一方で、傷害部位では、健常部位で検出されなかった細菌属が複数検出され、それらの相対存在比は傷害の種類によっても異なっていた。特に、*Leuconostoc* 属は健常部位で検出されなかったのに対し、擦過傷部位では約 30%、刺し傷部位では約 10% の相対存在比を示した。本属には収穫後の青果物の変敗に関与する種・株が存在することが報告されている。これらのことから、傷害の有無だけでなく、その形態によっても傷害部の細菌群集構造が異なることが示唆され、傷害の形態がウンシュウミカンの品質保持期間に影響を及ぼす可能性が考えられた。

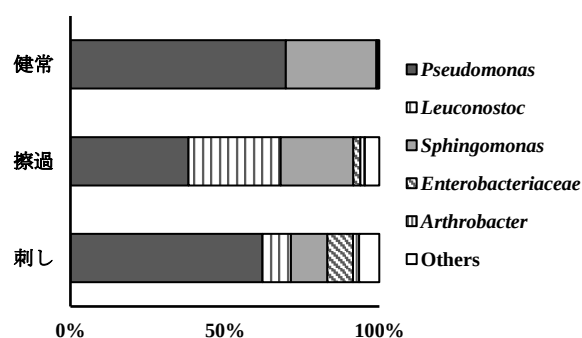


図 傷害形態の異なるウンシュウミカン果皮の保存 3 週目における細菌群集構造

キュアリング処理による長期貯蔵コガネセンガンの品質特性および細菌叢構成の変動

○藏元理彩¹⁾・吉川英季乃²⁾・中野浩平³⁾・濱中大介⁴⁾
 (鹿大学院連農¹⁾・鹿大学院農水研²⁾・岐大院連農³⁾・鹿大学農⁴⁾)

【はじめに】

サツマイモは鹿児島県の基幹農作物であり、青果用、加工用、芋焼酎原料、デンプン原料および飼料用など幅広い用途で利用されており、その中でも、コガネセンガンは焼酎原料用品種として南九州地域で広く栽培されている。コガネセンガンを含むサツマイモは、数か月の長期間貯蔵が求められることから、保存・流通過程におけるカビや腐敗の発生抑制を目的として、キュアリング処理が実施されている。キュアリング処理は、一般的に 30～35℃、相対湿度 90～95% の条件下で 3～4 日間保持することにより損傷部位にコルク層を形成させ、病原菌の侵入を抑制することで貯蔵病害の発生軽減に寄与すると報告されている。一方、このような高温・高湿度条件での処理は、病原菌の侵入防止に加え、サツマイモに存在する細菌叢の構成にも影響を及ぼす可能性が考えられる。しかしながら、キュアリング処理がサツマイモの細菌叢に及ぼす影響についてはほとんど明らかにされていない。さらに、品質成分の変化と細菌叢の変動を併せて評価した報告は限られている。そこで本研究では、コガネセンガンを対象として、キュアリング処理の有無が品質成分および細菌叢に及ぼす影響を検討した。

【材料および方法】

供試材料として、鹿児島県種子島産のサツマイモ (*Ipomoea batatas* (L.) Lam., cv. コガネセンガン) を用いた。キュアリング無処理の試料を入手し、35℃・相対湿度 90% 以上のインキュベータ内で 3 日間のキュアリング処理を行った。その後、5 および 12℃ で 12 週間保存した。保存前後で、重量測定、アスコルビン酸量測定、総ポリフェノール量測定および細菌叢解析を行った。アスコルビン酸量は、試料に 5 倍量の 5% メタリン酸溶液を添加してホモジナイズし、RQflex20 (Merck) を用いて測定した。総ポリフェノール量は、フォーリン・チオカルト法に準拠して測定した。

細菌叢は、細胞濃縮法によって解析した。すなわち、試料からメタゲノム DNA を抽出し、細菌 16S rRNA 遺伝子の V3/V4 領域を PCR で増幅した後、次世代シーケンサにより塩基配列を取得した。得られた配列データは Qiime2 を用いて解析し、科および属レベルでの細菌叢構成を評価した。

【結果】

12 週間保存後の重量減少率は、保存温度にかかわらず、キュアリング処理試料で約 1.5%、無処理試料で 3～5%、となり、いずれの保存温度においてもキュアリング処理により重量減少率が低下した。これは、キュアリング処理によって形成されたコルク層が水分蒸散を抑制したためと考えられた。一方、アスコルビン酸量は無処理の 5℃ 保存試料が 12.2 mg/100 g F.W. となり最大であったが、キュアリング処理による顕著な差異は認められなかった。細菌叢解析の結果、キュアリング処理無処理試料では保存温度にかかわらず、Enterobacteriaceae、*Agrobacterium* などの代表的な青果物付着細菌が優占し、細菌叢構成に大きな変化は認められなかった。一方、キュアリング処理した試料において、5℃ 保存の細菌叢は無処理のものと類似していたものの、12℃ 保存試料では *Oceanobacillus* および *Achromobacter* の相対存在比が増加し、無処理試料とは異なる細菌叢構成が示された。これらの結果から、キュアリング処理がサツマイモの細菌叢構成に及ぼす影響は保存温度によって異なることが示唆された。

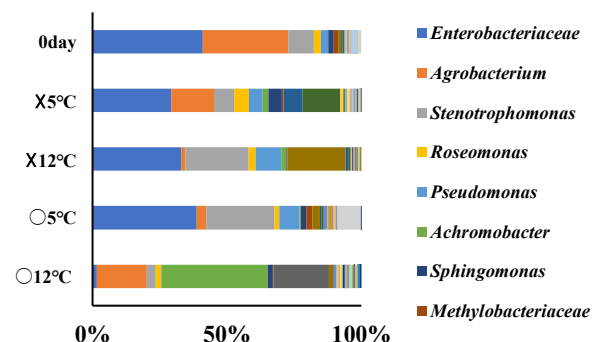


図 キュアリング処理による細菌叢の変化

Mathematical Models for Individual Tomato Flower and Fruit Growth Indices Based on Cumulative Environmental Factors and Their Three-Dimensional Geometric Analysis

○Kalpani Abeysinghe¹⁾, Cuong Chi Doan²⁾, Munehiro Tanaka³⁾
(Kagoshima University¹⁾, Danang University²⁾, Saga University³⁾)

Introduction

Greenhouse cultivation provides the advantage of modifying and controlling environmental conditions to improve crop production. Tomato is one of the most widely cultivated crops worldwide and understanding the relationship between tomato growth and environment is highly important. The development of mathematical models (MM) is a powerful approach for describing and understanding the relationships between greenhouse environment and plant growing indices. Coung et.al. (2022) developed a flower cluster based MM to predict the date of flower cluster initiation and fruit ripening, cluster weight and fruit number. However, these models predicted the characteristics of fruit cluster unit rather than individually. Therefore, this study aimed to develop MMs for individual flowers and fruits to describe the relationships between environmental factors and various tomato growth indices.

Materials and Methods

Tomato (*Solanum lycopersicum* L. cultivar Momotaro Piece) was hydroponically cultivated in the glass greenhouse over two seasons; the first season (S1) from October 2022 to July 2023, the second (S2) from October 2023 to June 2024. Acquired data in S1 were used to construct the MMs, while data from S2 were used to validate the MM by S1. To record the duration on tomato growth information, fruit clusters and individual flowers were labeled according to their date of occurrence. The number of days between the emergence of adjacent clusters (CI), from flower opening to fruit appear (DFFA), and from fruit appear to harvest (DFAH), as well as individual fruit weight at harvest (FW) were recorded as the dependent variables. Temperature, solar radiation, and humidity were measured in the greenhouse and converted into cumulative amount of heat unit (CHU, °C days), cumulative solar radiation (CSR, MJ m⁻²day⁻¹), and cumulative vapor pressure deficit (CVPD, kPa), which were used as independent variables. MMs were developed using multiple linear regression (MLR) and checked these predictive potentials using S2 data.

Results and Discussion

For the MMs using S1 by MLR, R² for CI, DFFA, DFAH, and FW were 0.70, 0.70, 0.57, and 0.09, respectively, while the corresponding RMSEP were 2.04, 2.05, 9.98 and 88.66. By validation using S2, the RMSE of CI, DFFA, DFAH and FW were 2.00, 1.67, 12.80 and 414.70, respectively. The RMSE using S1 and S2 were generally similar, indicating the relationships between environmental conditions in

greenhouse and tomato growth both in S1 and S2 by controlling greenhouse conditions. However, FW model showed poor predictive performance,

Besides, the scatter plot of observed and predicted values for the DFAH showed several distinct linear groups. To investigate this pattern, CHU, CSR and CVPD were analyzed by fitting into an ordinary least square (OLS) regression plane and geometrically optimum 3D plane. For the vertical residuals and perpendicular distances, the mean absolute deviations were 1.223 and 1.219. Standard deviations were 0.971 and 0.967 respectively. The minimum variance of perpendicular distance to the plane in 3D space confirmed that the data lay almost perfect planar surface. However, distinct linear groups were still observed on the fitted plane. To further investigate this pattern, environment data from several representative plants were plotted in 3D space. At the individual plant level, fruits formed distinct linear groups rather than being randomly distributed across the plane. Based on the observed linear patterns, fruits were classified into early and late-harvest cohorts (Fig.1). These two cohorts represented fruits with different durations from the zero date defined as the date of 2nd cluster emergence, to the harvest date. Consequently, fruits within each cohort may have been exposed to similar environmental conditions, suggesting that differences in fruit development time under different environments resulted in different combinations of CHU, CSR and CVPD, thereby resulting in the linear groups. Furthermore, the poor prediction ability of the FW model suggests that CHU, CSR and CVPD cannot explain the variability in FW, and additional information such as photosynthesis characteristics may be required to improve prediction accuracy.

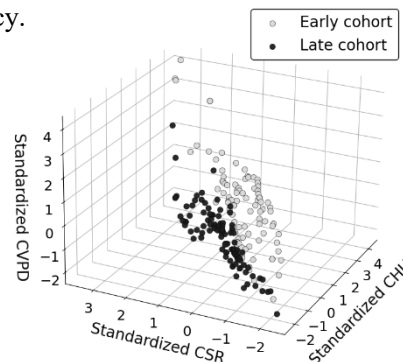


Figure 1 Distribution of standardized CHU, CSR and CVPD for early and late harvesting cohorts in 3D space

Reference: doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110803

* E-mail: mune@cc.saga-u.ac.jp

3D Volumetric Reconstruction and Phenotyping of Greenhouse Cucumber Canopies via Semantic Gaussian Splatting

○Dong Thanh Pham¹⁾ · Zaifei Jiang¹⁾ · Muneshi Mitsuoka¹⁾ · Daisuke Yasutake¹⁾ · Takenori Ozaki²⁾ · Masaharu Koga²⁾ · Koichi Nomura³⁾ · Takashi Okayasu¹⁾
(¹⁾Kyushu Univ., ²⁾welzo Co., Ltd., ³⁾Tottori Univ.)

【Introduction】

Precise characterization of canopy architecture is essential, yet 2D vision compresses depth and traditional 3D sensing struggles with severe self-occlusion in dense crops. To address this, we present a semantic 3D Gaussian Splatting (3DGS) framework. The primary objectives are: benchmarking 2D mask extraction (YOLO11 vs. SAM3), integrating semantic masks prior to 3DGS for leaf isolation, and voxelizing spatial data to quantify temporal architectural traits.

【Materials and Methods】

The pipeline was executed through the following sequential steps:

Data Acquisition: Video was collected in single-bed and parallel-bed cucumber using a handheld camera. Orbital trajectories were performed at three heights (1.4 m, 1.6 m, 1.8 m), capturing datasets before and after pruning.

Pose Estimation & 2D Masking: Camera poses were estimated via COLMAP. To achieve spatial isolation, custom YOLO11-seg networks were evaluated against the zero-shot SAM3 foundation model (prompted with "leaf") to extract precise 2D semantic masks.

Semantic 3DGS Optimization: Input RGB images were pre-masked using the segmentations to exclude background infrastructure, then processed through the 3DGS pipeline.

Spatial Voxelization: Optimized Gaussian spatial means were extracted and scaled using physical reference markers. The points were then normalized onto a uniform 0.01 m voxel grid to eliminate algorithmic densification bias.

Phenotypic Trait Extraction: The voxelized data was analyzed to extract metrics, Leaf Point Density, Canopy Length, Lateral Spread, Projected Area, and Layer Porosity.

【Results and Discussion】

For evaluating 2D mask, the SAM3 model (Semantic mIoU = 0.9667) outperformed YOLO11-seg, providing the necessary boundary precision to delineate complex foliage.

By embedding these SAM3 segmentation masks prior to 3DGS optimization, background infrastructure (e.g., support wires, paths, framing) was strictly excluded from the rendered scenes. Exporting these filtered semantic Gaussians into a 0.01 m voxel grid neutralized algorithmic densification bias—an artifact where raw 3DGS adaptively clones and splits points in high-contrast regions without reflecting actual biomass. This normalization converted the point cloud into an accurate physical representation of 3D leaf surface area (Figure 1).

Semantic voxel measurements demonstrated millimeter-scale accuracy against in situ physical ground truth (Table 1). The model preserved leaf dimensions with a Root Mean Square Error (RMSE) of 0.56 cm for leaf length and 0.59 cm for leaf width.

Table 1: Geometric accuracy validation

Phenotypic Metric	Ground Truth (cm)	Voxel Model (cm)	RMSE (cm)
Leaf Length	18.2 ± 1.0	17.9 ± 1.0	0.56
Leaf Width	16.4 ± 1.2	16.1 ± 1.1	0.59

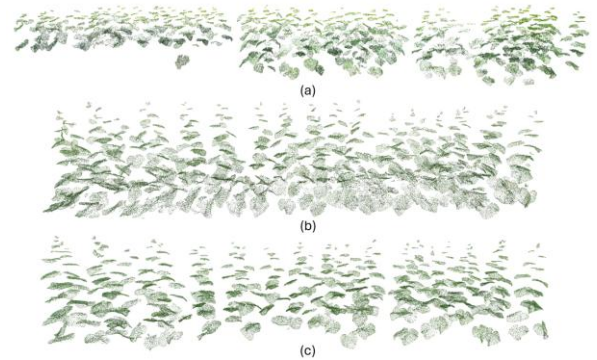


Figure 1: Semantic leaf voxel models

Development and Evaluation of A Scalable Generative AI Interface for Time-Series Data Visualization and Agricultural Knowledge

Nayeen Al Amin^{1,2)} • Masafumi Horimoto^{1,2)} • Youto Sezaki³⁾ • Pham Thanh Dong¹⁾,
Muneshi Mitasuoka¹⁾ • Daisuke Yasutake¹⁾ • Takenori Ozaki⁴⁾ • Masaharu Koga⁴⁾ • Takashi Okayasu¹⁾
¹⁾Kyushu University • ²⁾YS Lab LLC • ³⁾Nagoya University • ⁴⁾welzo Co. Ltd.

【Introduction】

Greenhouse monitoring generates high-frequency environmental time-series data, while cultivation manuals provide essential management knowledge. Conventional dashboards often require users to manually select sensors and time periods, making exploratory analysis difficult for users unfamiliar with the system. This study developed and evaluated an integrated Generative AI interface for graph generation and cultivation guidance.

【Materials and Methods】

The experiment was conducted in a greenhouse equipped with a Ubiquitous Environmental Control System (UECS) at the welzo Research Farm, Fukuoka. Environmental data such as temperature, relative humidity, and CO₂ concentration were recorded at 1-second intervals, stored in MariaDB, and then synchronized to Agri-eye every 5 minutes via a secure API.

The environmental data visualization application provided a large-scale language model to automate the display and comparison of various sensor data installed in the field. All sensor-related information and SQL syntax were stored in the Retrieval-augmented generation (RAG) layer. This enabled the automatic chart generation of various environmental data using only natural language.

On the other hand, to support decision-making in cultivation management, documents related to cucumber cultivation were organized, split, embedded, and indexed in Qdrant. Responses were generated from the extracted text. Visualization was evaluated using 100 queries across 10 categories, and the quality of the responses was assessed using several metrics.

【Results】

Fig. 1 demonstrates that the system synchronized humidity and temperature data with ventilation-fan operation, enabling visual examination of environmental responses to equipment control. In the query evaluation, sensor-name extraction achieved 87%, date-phrase identification 100%, and executable date/time parsing 89%. Most errors involved informal sensor aliases, ambiguous wording, and contextual time expressions.

As shown in Fig. 2, mean BLEU, ROUGE-1, and ROUGE-L scores were 56.8, 66.3, and 59.1, respectively. These metrics compare generated answers with reference answers by measuring matching word sequences, individual words, and overall word order; higher scores indicate greater similarity.

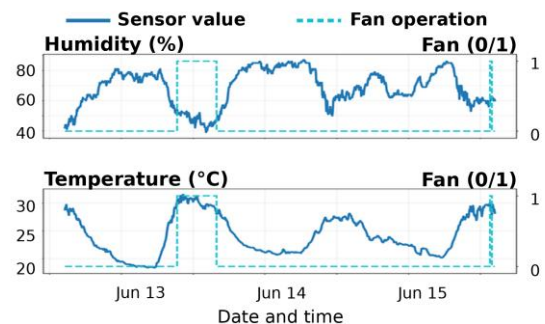


Fig.1 Generated chart for in-house humidity, temperature, and ventilation-fan operation.

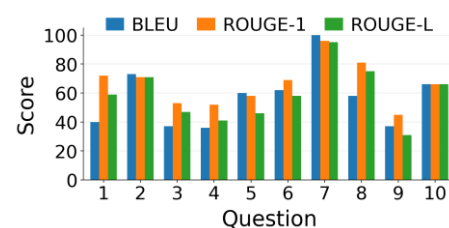


Fig.2 Answer-quality scores for ten cultivation-guidance questions.

ポスター発表

マイクロインデンタ試験と機械学習を用いた三次元個別要素法パラメータ決定支援手法の検討

○加藤豊大・岡安崇史¹⁾・金山素平¹⁾・Dong Thanh Pham¹⁾・光岡宗司¹⁾
(九大院生資環・¹⁾ 九大院農)

【はじめに】

農業機械の走行性・作業性能は土との相互作用に大きく依存するため、設計最適化や自律走行制御の高度化には、力学的評価が不可欠である。粒子群レベルの挙動を扱う個別要素法 (DEM) は、実験では観測が困難な現象を可視化できる有力な解析手法であり、中でも弾塑性挙動と付着挙動を表現できる EEPA 接触モデルは土質材料の再現に有効である。しかし EEPA モデルは同定すべきパラメータが多く、一面せん断試験等を模擬した DEM 解析を繰り返す従来法は、時間・経験則への依存という課題がある。

そこで本研究では、少量の試料で短時間に応答を取得できるマイクロインデンタ試験に着目し、 $p-h$ 曲線から得られる押し込み時最大反力 $P_{\max}$ および除荷時最小反力 $P_{\min}$ を特徴量として、機械学習により EEPA モデルの主要パラメータを推定する手法を検討した。

【材料および方法】

供試材料にカオリン粘土を用い、テンシロン型万能圧縮試験機によるマイクロインデンタ試験を実施した。インデンタを深さ 1 mm まで押し込み速度 0.1 mm/s で押し込んだ後、同速度で引き上げ、同一供試体に 5 回試験を行い $p-h$ 曲線を取得した。DEM 解析には EDEM 2025.0 を用い、接触モデルには EEPA モデルを適用した。粒径 0.5 mm の球形粒子 6 万個を円柱容器内に充填し、実験と同様の条件でインデンタ試験を再現した。次に、一元配置法による感度解析により、 $P_{\max} \cdot P_{\min}$ への寄与が大きい予備圧縮荷重 F_{pre} 、粒子-粒子間表面エネルギー $\Delta\gamma_{\text{pp}}$ 、粒子-インデンタ間表面エネルギー $\Delta\gamma_{\text{pi}}$ の 3 因子を主要因子として選定した。

選定した 3 つの主要因を説明変数、 $P_{\max}$ 、 $P_{\min}$ を目的変数とする回帰モデルを作成するため、実験計画法による 28 条件の DEM 解析を実施して教師データを作成した。リッジ回帰・ラッソ回帰・MLSM・RBF 回帰の 4 モデルを Nested Cross Validation により比較し、最も精度の高いモデルにより実測試験に対応

するパラメータを推定し、DEM 再解析により妥当性を検証した。

【結果】

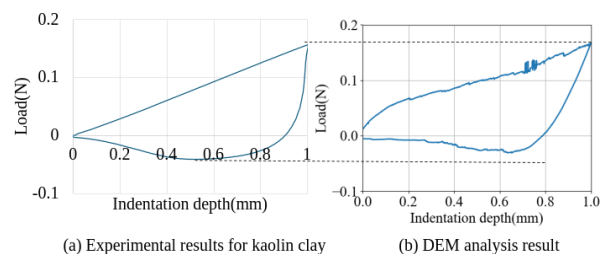
カオリン粘土の $p-h$ 曲線は押し込み深さの増加に伴い反力が単調に増加し、除荷時には明瞭なヒステリシスと負反力を示した。感度解析より、 $P_{\max}$ は主に予備圧縮状態や塑性変形に、 $P_{\min}$ は表面エネルギーに支配される付着・剥離挙動に強く依存し、両指標で支配因子が異なることが確認された。

回帰モデルの比較では、 $P_{\max}$ に対する決定係数 R^2 はリッジ回帰 0.82, ラッソ回帰 0.81, MLSM 0.82, RBF 回帰 0.87 であり、非線形性の強い $P_{\max}$ では RBF 回帰が 0.70 と最も高精度であった。最終的に RBF 回帰を採用し、実測試験に対応するパラメータを推定した。

推定パラメータを用いた DEM 再解析は $P_{\max}$ で実測との相対誤差約 6% と良好に一致し、 $P_{\min}$ も符号・オーダーを再現した (Table1)。また、先行研究データへの適用で良好な一致が得られ (Fig.1), 本手法が DEM パラメータ探索の効率化に有効であることが示された。

表 1 実測値・推定値・DEM 解析値の比較

	実験平均 値 (n=5)	推定値	解析値
最大値 (N)	0.158	0.15	0.167
最小値 (N)	-0.041	-0.03	-0.031

図 1 実測と DEM 解析との $p-h$ 曲線の比較

【参考文献】

金山素平, 嘉本晃子, 颯田尚哉, 武藤由子. マイクロインデンタを用いたカオリン粘土の微小力学的挙動の定量的評価. 粘土科学, Vol. 59, No. 1, pp. 1-9, 2020.

物理的損傷の違いがウンシュウミカン果皮のストレス応答に及ぼす影響

○若宮結衣¹⁾・吉川英季乃²⁾・藏元理彩³⁾・濱中大介¹⁾
 (鹿大農¹⁾, 鹿大院農水研²⁾, 鹿大連農³⁾)

【はじめに】

物理的損傷を受けた青果物は、水分損失や呼吸量の増加に加え、病原菌の侵入によって腐敗が生じることが問題となっている。特にウンシュウミカンにおける物理的損傷は、緑かび病や青かび病などの貯蔵病害に直結する重大な課題である。青果物の中には、損傷が生じると、抗酸化能力に寄与するフェノール化合物の生合成を促進させ、損傷部位からの病原菌侵入を抑制する防御応答を示すものが存在している。先行研究では、柑橘類に傷をつけることによって、フェノール化合物の生合成に関与するフェニルプロパノイド経路の酵素活性が上昇することが報告されている。しかし、傷の種類によるストレス応答の差異については明らかになっていない。

そこで、本研究では、ウンシュウミカンの果皮における物理的損傷の違いがストレス応答に与える影響について検討した。

【材料および方法】

供試試料として、鹿児島大学近郊の小売店で購入した熊本県産のウンシュウミカン (*Citrus unshiu* Marc. 'Aoshima unshu') を使用した。果皮中央部 (1.5×3cm) に有傷処理 (擦過傷および刺傷) を施し、12℃で最大 21 日間保存した。サンプリングは 0, 7, および 21 日目に行い、総ポリフェノール量、フェニルアラニンアンモニアリアーゼ (PAL) 活性、リグニン生合成遺伝子である *CuPAL* 及びケイ皮酸-4-ヒドロキシラーゼ (*Cu4H*) の発現を解析した。

総ポリフェノール量測定は、フォーリン・チオカルト法に準拠して行い、PAL 活性は L-フェニルアラニンを基質とした吸光光度法により測定した。遺伝子発現解析は、*CuActin* を内在性対照としたリアルタイム定量 PCR で解析し、 $\Delta\Delta Ct$ 法によって保存 0 日目の試料を基準とした相対発現量を算出した。

【結果】

総ポリフェノール量は、傷をつけていないサンプル (健常) と刺傷試料で、保存日数の経過とともに減少する傾向がみられた。一方で、擦過傷の総ポリフェノール量は初期の値を維持しており、保存期間を通して最大であった。

本研究で標的とした遺伝子の相対発現量は、総ポリフェノール量の結果と異なる傾向を示した。*CuPAL* の相対発現量は、健常試料において保存期間を通して維持していた。有傷試料では 7 日目で一時的に高い値を示したが、保存 21 日目で低下する傾向を示した。傷の種類の違いによる相対発現量を比較すると、保存 7 日目では刺傷試料が、保存 21 日目では擦過傷試料が大きな値を示した。このことから、擦過傷は保存期間を通して持続的にストレス応答を示すものの、刺傷は損傷発生後の比較的早期においてフェニルプロパノイド代謝経路を一時的に活性化させるような、ストレス応答挙動を示すと考えられた。

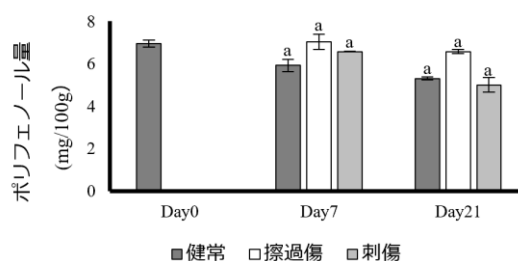


図 1 損傷形態の違いが総ポリフェノール量に及ぼす影響

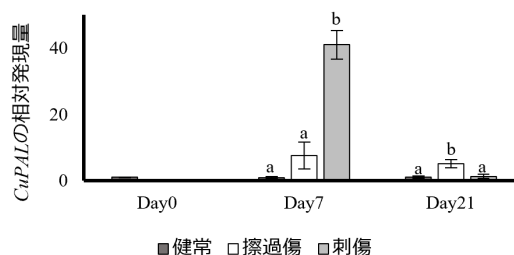


図 2 損傷形態の違いが *CuPAL* の相対発現量に及ぼす影響

クリーク改修工事における建設機械の振動についての研究

○田口晃士朗¹⁾, 稲葉繁樹²⁾
(佐賀大院農¹⁾, 佐賀大農²⁾)

【はじめに】

クリークは農業に密接な関係があり、元は干拓地であるという佐賀地域では、排水や灌漑にも重要な役割を持っている。しかし、クリークは現在、底に土が蓄積し、岸も壊れつつあるなど、改修工事が必要な状況にある。国の事業として、農閑期には佐賀の様々な場所で大型の建設機械による改修を行っている。この作業場所の周囲では住民や建物について、振動が原因と思われる苦情などが報告されている。

先行研究では、各種作業振動のうち履帯の走行振動が一番大きいことが判明した。

そこで、本研究では建設機械が起こす振動の影響範囲について明らかにすることを目的とした。

【材料および方法】

振動計測には、振動レベル計(リオン社製:VM-55RT)6台を供試した。計測した振動データは、環境計測データ管理ソフトウェア(リオン社製:AS-60)を用いて、周波数別の振動解析(1/3 オクターブ解析)を実施した。計測を行う際にはビデオカメラ(Panasonic 製:HC-W580M)3台、三脚3台を供試した。ビデオカメラは

- ① 測定対象車両が振動レベル計の前を通った時間の確認用とした。
- ② すべてのセンサの周囲に、対象車両以外の振動源がないことの確認用とした。
- ③ ②と反対側から撮影を行い、②のカメラの視野がさえぎられる(人物・機体など)場合の補完用とした。

ビデオカメラの映像を確認する際には、ハイビジョン動画編集ソフト(Panasonic 社製:HD Writer LE3.1)を用いた。

測定方法として、振動レベル計は道路に沿って10mおきに設置した。振動レベル計を設置した場所がアスファルトの場合、水平となるように設置した。やわらかい土の場合、鉄板(200mm(L)×75mm(W)×3mm(T))を長さ180mm

直径10mmの杭4本で地面に固定し、水平であることを確認した。その鉄板の上にセンサを設置した。センサ設置の一例を図1に示す。進行方向にY軸を設定し、Y軸に90°で交差するようにX軸を設定した。他のセンサも基準となるセンサと同じ向きで設置した。

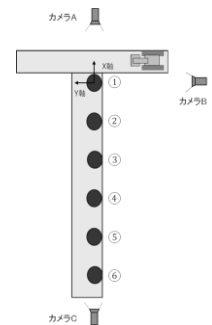


図1 センサ設置図

解析の手順として、建設機械が通った時間を測定に行った際に記録しておき、その時間における測定データについて、Z軸方向の振動をLv10にて測定し、続けて1/3オクターブ解析を行った。

【結果】

クリーク改修工事でのバックホウの走行振動の測定結果の一例を図2に示す。0mでは建設機械の振動を計測するため70dBを超える振動を計測した。バックホウから10m離れた地点では62dBに低下したものの10m～30mまで振動の大きさはあまり減衰しなかった。40m地点において振動の大きさが大幅に減少した。4～12.5Hzでは30mまでの距離では減衰が見られず、それ以上の周波数帯では0mを除いて距離が離れるごとに大幅に減衰した。

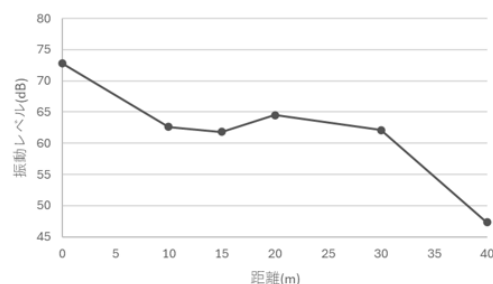


図2 振動解析結果

マルチボディダイナミクスを用いた農業用車両のタイヤ分担荷重推定のための車両モデルの構築と妥当性検証

○和知陸斗・Pham Thanh Dong¹⁾・岡安 崇史¹⁾・光岡 宗司¹⁾
(九大院生資環・九大院農¹⁾)

【はじめに】

農作業中の死亡事故は毎年約 300 件発生しており、この数十年間に他産業で大幅減少している一方で農業においてほとんど減少していない。農作業死亡事故の約 3 分の 2 が農業機械に関わるものであり、特に、最も高い死亡事故要因となっているのが機械の転倒・転落である。農業機械は、段差や起伏の多い農道や傾斜地の走行、さらには機体の構造的な特徴から他の車両と比較して転倒・転落の危険性が高い。

一般的に、農業機械の機体の安定性、安全性は機体振動や姿勢角で評価されるが、車輪と路面との設置状態を直接的に反映するタイヤ分担荷重を推定できれば、転倒危険性を更に高く評価できると考えられる。しかし、実機を用いたタイヤ分担荷重の測定の高コスト、コストおよび操縦者の安全性の観点から殆ど実施されていない。

本研究では、マルチボディダイナミクス解析を用いてトラクタの力学モデルに基づく挙動の予測シミュレーションを構築した。本モデルに基づく角速度の予測値と実機を用いた実測値とを比較することで、モデルの妥当性を評価し、さらに、段差間隔や左右段差の位相差などの異なる路面条件における段差乗り越し走行シミュレーションを実施し、各条件がタイヤ分担荷重に及ぼす影響を調査した。

【材料および方法】

本研究では、マルチボディダイナミクスを用いて作業機付きトラクタの走行シミュレーションモデルを構築した。解析には MATLAB/Simulink (R2026a) を用いた。モデルは簡易化のため、機体本体、タイヤ、作業機を剛体として構成し、各剛体を合わせてトラクタモデルを作成した。モデルのパラメータは実機の諸元に基づいて設定した。

解析モデルの妥当性の検証のため、実機による段差乗り越し実験を行った。実験は 15HP

型トラクタを供試して、平坦路面に設置した段差を右輪のみ越すように走行した。走行条件は、作業機が最も高い位置で平坦路面に設置した 15 mm の段差乗り越しを 0.3, 1.7 m/s の速度で行った。機体フレームの複数箇所に IMU (スポーツセンシング社製, DSP ワイヤレス 9 軸モーションセンサ) を設置し、並進加速度、角速度を計測した。得られた機体の実測データと同条件で行ったシミュレーションにより得られた解析データを比較すること、解析モデルの妥当性を検証した。

【結果】

走行速度 0.3 m/s での座席下のセンサから測定された実測値とシミュレーションのロール角速度の比較を図 1 に示す。

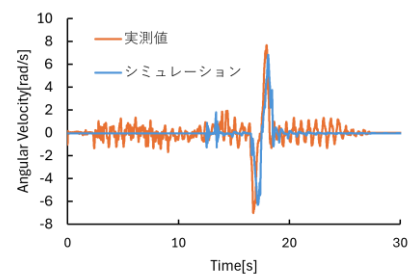


図 1. 実測データと解析データの比較

ロール角速度の挙動と最大値には高い一致が確認された。ピッチ角速度やセンサ位置・走行速度を変えた結果も、同様の一致が見られ、モデルの妥当性を検証できた。

さらに、本走行条件でのシミュレーションモデルから得られた各タイヤの接地反力を図 2 に示す。図より、段差を乗り越す際に、大きな荷重変動が確認された。詳細は発表にて行う。

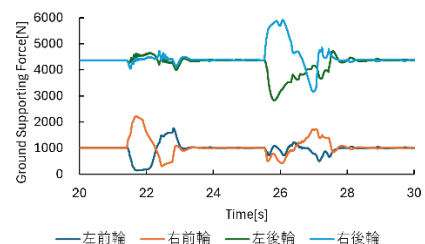


図 2. 段差乗り越し時のタイヤ反力

NAS 法によるモデルレスなサトウキビ搾汁液中スクロースの定量

○堀榮美希・安里優花¹⁾・平良英三^{1,2)}
 (鹿児島連大・¹⁾ 琉大院農・²⁾ 琉大農)

【はじめに】

サトウキビの品質評価において糖度（スクロース濃度）は取引価格の決定に用いられる重要な指標であり，従来の旋光法に代わる安全・迅速な手法として近赤外（NIR）分光法による PLS モデルを用いた糖度測定が行われている。しかし，NIR による定量には実サンプルによるモデル開発が不可欠であり，化学分析への依存を排除するには至らず，モデルの更新・維持に専門知識とコストを要する。この課題に対し，純スペクトルのみで定量可能な Net Analyte Signal (NAS) 法が解決策として挙げられるが，定量的な利用には全干渉成分の学習が不可欠とされ，天然サンプルへの適用はこれまでに検討されていない。そこで本研究では，単一標準液ベースの NAS 法によるサトウキビ搾汁液中スクロースの定量を試み，PLS モデルとの比較によりその適用可能性と波長範囲の検討を行った。

【材料および方法】

スクロース，グルコース，フルクトースの各単一標準液（各 $n=1$ ），スクロース+KCl 標準液（ $n=9$ ），糖混合標準液（スクロース+グルコース+フルクトース， $n=15$ ），および沖縄県製糖工場由来のサトウキビ搾汁液（ $n=100$ ）を供試し，全サンプルの NIR スペクトル（400～2500nm）を測定した。サトウキビ搾汁液は HPLC によりスクロース，グルコース，フルクトース濃度を定量した。

スクロース，グルコース，フルクトースの単一標準液スペクトルを用いた NAS 解析により，第二倍音域（1380～1490nm），第一倍音域（1500～1750nm），結合音域（2090～2340nm），および NIR 全域（700～2500nm）の 4 波長域でサトウキビ搾汁液中スクロースを定量し，RMSEP により NAS 法に適した波長範囲を評価した。さらに同 4 波長域について，4 つのサンプル群それぞれでスクロース濃度推定の PLS モデルを開発し，回帰ベクトル間の類似性を相関分析により比較し，波長域間の精度差の要因を考察した。

【結果】

NIR 全域では，RMSEP が 2.50%であったのに対し，第一倍音域で 0.52%，結合音域で 0.54%と良好な精度を示した一方，第二倍音域では 2.97%と精度が低かった（図 1）。この精度差の要因を考察するため，4 サンプル群の PLS 回帰ベクトルを比較したところ，第一倍音域および結合音域では群間相関が高く（ $r=0.98\sim0.99$ ），第二倍音域では相関が低かった（ $r=0.59\sim0.92$ ）。この波長域は，水の O-H 吸収帯（1400nm 付近）と重なることから，KCl やグルコース，フルクトースの混入による水和構造変化の影響が示唆された。

以上より，第一倍音域および結合音域は他成分の干渉を受けにくく，実サンプルを用いることなく 3 種の単一標準液のみを用いた NAS 法によりサトウキビ搾汁液中スクロースを高精度に定量可能であることが示された。

本手法は化学分析や検量モデルの開発・更新・維持に関する専門技術・知識を要さず，そのコスト削減に寄与すると期待される。

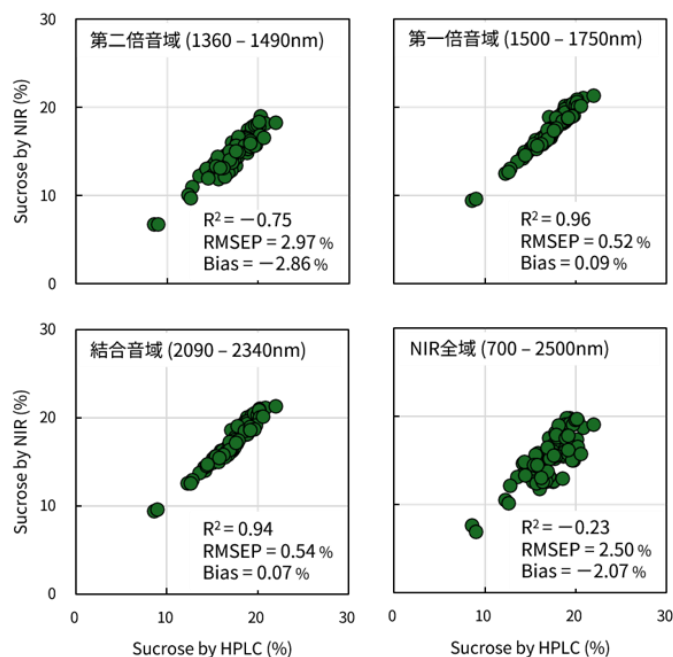


図 1. 各波長域における NAS 法によるサトウキビ搾汁液中スクロース濃度の推定結果

光触媒を用いたエチレン分解装置の性能評価および青果物の鮮度保持効果の検証

○吉田光優¹⁾・山田暁¹⁾・松岡さやか²⁾・岡崎真也²⁾・近藤拓海²⁾・田中良奈³⁾・田中史彦³⁾
(九大院生資環・¹⁾ 九大農・²⁾ シャープ(株)・³⁾ 九大院農)

【はじめに】

リンゴやモモなどのクライマクテリック型青果物は、収穫後も多量のエチレンを放出する。エチレンは青果物の呼吸や代謝を促進し、品質劣化を加速するため、家庭用冷蔵庫のような閉鎖的な空間では他の食材の劣化を早める要因となる。したがって、貯蔵空間全体からエチレンを除去することが重要である。本研究では、光触媒ガス分解モジュールの性能評価およびエチレン除去による青果物の鮮度保持効果について、実験と数値解析の両面から検討した。光触媒ガス分解モジュールをアクリルボックス内に設置し、エチレンを注入した際の濃度変化や、エチレンを放出する青果物と共に貯蔵した際のエチレン濃度変化および青果物の品質変化を調査した。また、ANSYS Fluent を用いて青果物貯蔵中のエチレン濃度分布および必要なエチレン分解能力を予測する数値モデルを構築した。

【材料および方法】

1. 青果物貯蔵試験

エチレン存在環境下における光触媒ガス分解モジュールの分解性能および、モジュールの有無による青果物品質への影響を評価するため、貯蔵試験を行った。2つのアクリルボックスにそれぞれ青果物を設置し、光触媒ガス分解モジュール（シャープ株式会社開発品）を設置した試験区と、同一構造で光触媒を搭載していない対照装置（No. 112）を設置した対照区を設定した。ボックス内の空気を循環させるため、ファンを常時運転した。24時間ごとにアクリルボックス内のエチレン濃度をガスクロマトグラフ（GC-2014, (株)島津製作所）を用いて測定するとともに、実験開始前後の青果物の質量、外観の変化を評価した。

2. 反応モデル構築およびシミュレーション
エチレン除去効率の向上を目的として、

ANSYS Fluent を用いてエチレン濃度変化のシミュレーションを行った。実験値と解析値を比較することで、構築した計算モデルの妥当性を検証した。また、エチレン除去効率の向上を目的として、光触媒ガス分解モジュールの設置台数および設置個所を変更した条件におけるシミュレーションも実施し、エチレン除去効率への影響を検討した。

【結果】

1. 青果物貯蔵試験

エチレン濃度は、計測したすべての時点において、光触媒ガス分解モジュールを設置した試験区の方が低い値を示した。このことから、光触媒ガス分解モジュールによってエチレンが分解されていることが確認された。また、対照区と比べ試験区では質量損失率が小さく、鮮度保持に有効であることが示された。

2. 反応モデル構築およびシミュレーション

ファン吹出口前にモジュールを設置した条件（ファン正面設置条件）およびファン吹出し流路外にモジュールを設置した条件（ファン側方設置条件）の 1.25 時間後のアクリルボックス内の体積平均濃度はそれぞれ 68.6 ppm, 53.2 ppm であった。これより、ファン側方設置条件の方エチレン分解効率が高くなることが示された。次に、モジュールをファン正面と側面の計 2 台設置した場合のシミュレーションを行った。その結果、同時時間経過後の体積平均濃度は 28.1 ppm となり、エチレン分解効率がさらに向上することが明らかとなった。

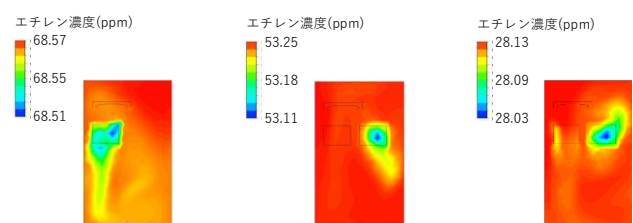


図1 シミュレーション結果（左から順にファン正面設置、ファン側方設置、2台設置）

高耐熱性フラットサワー菌 *Geobacillus stearothermophilus* 芽胞に対する高圧乳化剤併用処理の効果○林大雅・松尾和樹・片渕愛賀¹⁾・江口舞¹⁾・濱中大介
(鹿大農・¹⁾鹿大院農水研)

【はじめに】

フラットサワー菌は芽胞を形成する好気性好熱菌であり、酸を生成して風味を低下させるものの、ガスを産生しないことから缶詰の膨張を伴わない変敗を引き起こすことが知られている。これまでに低酸性缶詰（野菜缶、アスパラガス缶、豆類缶など）に加えて、レトルト食品、調理済み食品、スープ類、ソース類など、加熱殺菌を施した食品に関連した事故の原因微生物として報告されている。フラットサワー型変敗の代表的原因菌として、低酸性食品の場合は *Geobacillus stearothermophilus* が、酸性食品の場合は *Bacillus coagulans* が知られている。特に、*G. stearothermophilus* が形成する芽胞は、極めて強い耐熱性を示し、121.1℃においても高いD値を示すことから、通常の加熱殺菌条件では十分な殺滅が困難であり、確実な制御方法の提案が求められる。我々はこれまでに、高圧と乳化剤を併用することによって、数種の細菌が形成する芽胞の耐熱性低下および殺菌効果を検討してきたが、高度な耐熱性を有するフラットサワー菌に対する効果に関しては未検討である。本研究では、処理後の生菌数に加え、芽胞の損傷評価指標の一つとして用いられるジピコリン酸（DPA）の漏出量および処理後の回復挙動について評価した。

【材料および方法】

供試菌株として製品評価技術機構より入手した *Geobacillus stearothermophilus* NBRC12550 を用いた。菌株を TSB 液体培地で培養した後、芽胞形成用培地に塗布し、50℃で約 1 週間培養することで芽胞形成させた。形成芽胞を収穫し、遠心分離によるペレット形成と滅菌脱イオン水への懸濁を繰り返して菌体を洗浄した。さらに、70℃で 1 時間の加熱処理を行うことで栄養細胞を死滅させ、さらに波長 600nm における吸光度を 1.0 となるように芽胞濃度を調整して芽胞懸濁液を作製した。試料にはステアリン酸系およびオレイン酸系のショ糖脂肪酸エステルをそれ

ぞれ 0.1% となるよう添加し、対照区には滅菌イオン交換水を用いた。各試料をプラスチック袋に密封後、50℃に保持した状態で常圧、30、50 および 70MPa の圧力条件において 1 時間の高圧処理を行った。処理後の試料は段階希釈を行い、標準寒天培地に塗布して培養した後、出現したコロニーを計数して生菌数を算出した。また、高圧処理後の芽胞を、液体培地に懸濁し、培養中の吸光度を 1 時間毎に測定することで、高圧処理および乳化剤添加が芽胞の発芽と増殖挙動に及ぼす影響を評価した。DPA 漏出量の測定では、酢酸を加えて 1 時間放置した後、遠心分離したサンプルの上清を採取し、硫酸アンモニウム鉄(II)六水和物を用いて調製した色調剤を添加混合した試料液の 440 nm における吸光度を測定して算出した。

【結果】

50MPa および 70MPa では常圧と比較して有意な減少が認められた。ステアリン酸系乳化剤添加区では 30 MPa を除き対照区との有意差は認められなかった一方、オレイン酸系乳化剤添加区では 50MPa および 70MPa において対照区と比較して有意に生菌数が低下した。また、全ての圧力条件において乳化剤添加区は対照区よりも低い生菌数を示す傾向が認められ、オレイン酸を主成分とするショ糖脂肪酸エステルは、ステアリン酸系乳化剤よりも高い殺菌効果を示した。

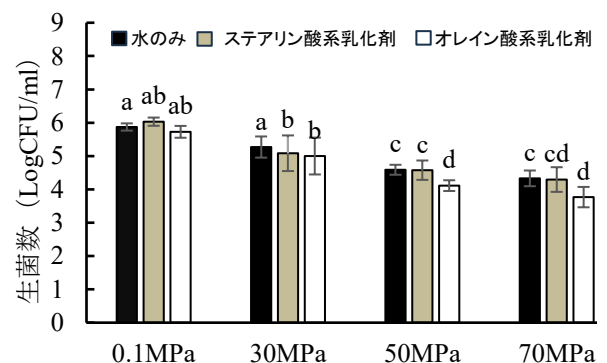


図 乳化剤と高圧処理の併用が *Geobacillus stearothermophilus* 芽胞の加熱後生菌数に及ぼす影響

電場処理がホウレンソウのクロロフィル含量とその分解関連遺伝子の発現に及ぼす影響

○牧山瑞樹¹⁾・井手雛子²⁾・蔵元理彩³⁾・濱中大介¹⁾
 (鹿大農¹⁾・鹿大院農水研²⁾・鹿大院連農³⁾)

【はじめに】

一般的に青果物は、収穫後も呼吸や蒸散などの生命活動を行うため、水分や栄養成分の損失により鮮度や品質が低下する。特に葉菜類では、鮮度の低下に伴って葉の緑色の主要成分であるクロロフィルが分解されることで黄化が生じる。青果物の商品性は見た目の外観情報をもとに品質が判断されるため、黄化の進行は商品価値の低下に直結する。

従来、緑色を長時間保持するために低温貯蔵、CA貯蔵、MA包装などが利用されてきた。しかし、厳密な温湿度管理、コストや技術面での課題が多いため、代替技術の提案が求められている。これまでの先行研究では、電場処理によって外観劣化や水分蒸発を抑制する可能性が報告されているが、電場処理がクロロフィル分解や維持、それに関連する遺伝子の発現へ及ぼす影響については明確でない。そこで本研究では、代表的な葉菜類であるホウレンソウを用いて、電場処理が緑色保持に与える影響について検討した。クロロフィル分解経路に着目し、クロロフィルの定量評価に加えて、紫外線照射時の蛍光励起画像によってクロロフィル変化に関連した外観を評価した。さらに、クロロフィル分解経路の関連遺伝子の発現解析により、電場処理が与える影響について検討した。

【材料および方法】

供試材料として研究室内(25℃)で水耕栽培したホウレンソウ(*Spinacia oleracea* L, cv. ジャスティス)を用いた。葉の大きさや形状が同様のものを選別後、研究室内で自作した電場装置で温度20℃、最大7日間保存を行った。保存試験では、対照区として非電場区、電場区では電界強度10kV/m、周波数50Hzの交流電場ならびに同電界強度の直流電場を設定した。保存開始0日目および保存後1、4、7日目のホウレンソウの葉を約60mg測り取ったものを試料とし、クロロフィルaおよびbを100%メタノール抽出法によって定量

評価した。蛍光励起画像は、波長365nmの紫外線照射によって確認できるクロロフィルの消長を視覚的に評価した。さらにクロロフィル分解経路に関連する遺伝子群の発現解析を実施した。すなわち、mRNAを抽出後、逆転写反応によってcDNAを合成した後、クロロフィル分解経路に関連する遺伝子領域(*SoNYC1*, *SoSGR*, *SoPPH*, *SoPaO*, *SoRCCR*)について、リアルタイム定量PCRを実行した。*SoTUB*遺伝子を標準遺伝子とし、得られた増幅曲線から $\Delta\Delta Ct$ 法により相対発現量を算出した。

【結果および考察】

クロロフィルaおよびクロロフィルb含量では、全ての条件において保存期間中に明確な変化は認められなかった。(図AおよびB)

一方、365nmの紫外線による蛍光励起画像では、非電場区において、保存期間を通して赤色蛍光の変化はほとんど確認されなかったが、交流および直流電場区において、保存1日目に非電場区よりも強い赤色蛍光が確認された。また、遺伝子発現では電場処理がホウレンソウのクロロフィル分解に影響があることが推察された。

本研究では、クロロフィル含量が維持されたにも関わらず、非電場区と電場区間で蛍光強度に差が生じたことから、電場処理はクチクラや上表皮などのクロロフィルを覆う組織に影響を与えた可能性が考えられた。

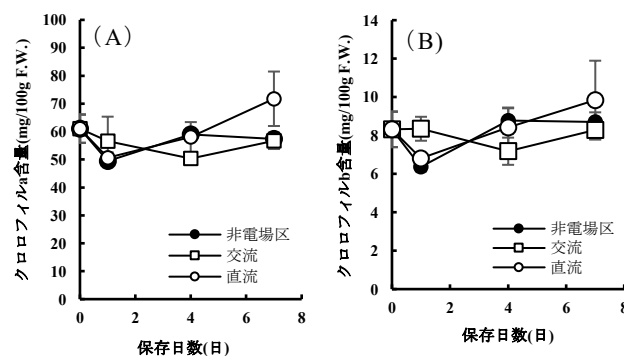


図 電場環境で保存したホウレンソウのクロロフィル a(A)および b(B)の含量

超音波センサによる水位計測を用いた排水量計測装置の開発

Development of a Drainage Volume Measurement Device Based on Water Level Measurement Using an Ultrasonic Sensor

○谷侑樹¹⁾・藤本社史¹⁾・堀本正文¹⁾・Pham Thanh Dong²⁾・光岡宗司²⁾・岡安崇史²⁾(九大院生資環¹⁾・九大院農²⁾)

【はじめに】

作物の水要求量は気象条件や生育段階で常に変化するため、生育状態に応じた適切な灌水管管理が必要である。しかし、従来の灌漑管理では植物の水要求量が十分把握できていないので、灌水量が過剰になることも少なくなかった。排水量は植物における水要求量の指標であり、適切な灌水制御に利用できるを考える。このため、排水量を連続的かつ簡便に計測できる装置の開発が求められている。

本研究では、連続的な排水量計測を可能とする開閉弁方式の排水量計測装置を開発し、排水量の推定精度を評価した。加えて、既開発の回転式排水量計測装置との比較を行った。

【材料および方法】

1. 排水量計測装置の概要

図1に排水量計測装置の構成を示す。本装置は、超音波距離センサによる水位測定と、モータによる弁の開閉機構による排水機構から構成されている。貯水槽上部に超音波距離センサを配置にし、水面までの距離を測定することにより、水位変化から排水量を推定できる仕組みとした。さらに、超音波距離センサを用いることで水位の経時的な変化を連続的に取得でき、時間ごとの排水量変化を把握することができる。

2. 水位－排水量関係式の導出

水位と排水量の関係を明らかにするため、貯水槽へ既知水量(0～600 mL)の水を投入し、水位を測定した。各条件で5回測定を行い、平均水位から水位－排水量の関係式を作成し、その精度を評価した。

3. 排水量計測の比較実験

排水量の計測測定精度に関しては、既開発の回転式排水量測定装置との比較により評価した。排水条件を複数設定し、両者の排水量計測結果を比較することにより、計測精度を評価した。

【結果】

水位と排水量の関係を解析した結果、最も高い決定係数が得られた2次近似式をキャリブレーション式として採用し、 $R^2=0.98$ を得た。作成したキャリブレーション式により排水量を推定した結果、

実測排水量との比較では $R^2=0.956$, $RMSE=70.1$ mLとなった。従来開発の回転式排水量計測装置との比較では、回転式は $R^2=0.952$, $RMSE=52.8$ mLであり、弁式は同程度の相関を示した(図2)。一方、弁式では実重量を小さく推定する傾向が認められ、少ない排水量領域および高水位域で推定誤差が増加した。本装置では、水位1 mmの変化が約20～40 mLの排水量変化に相当することから、HC-SR04超音波距離センサの測定誤差が推定精度に影響した可能性が示唆された。また、3次近似式を適用しても精度はほとんど改善されなかった。以上より、弁式排水量計測装置は植物の水要求量を把握するための排水量変化の傾向を把握できる可能性が示された。また、市販部品を用いた簡易かつ安価な構造であることから、連続的な排水量計測への応用が期待される。今後の連続試験の内容などはポスターに記載する。

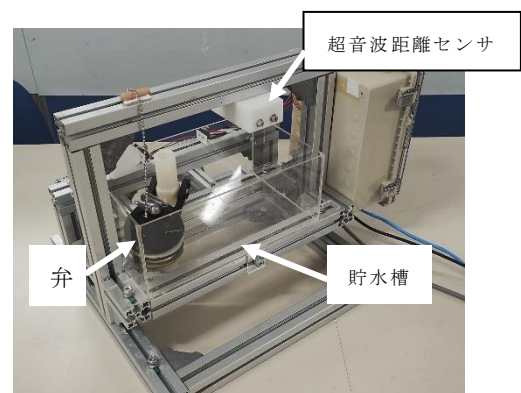


図1：排水量計測装置

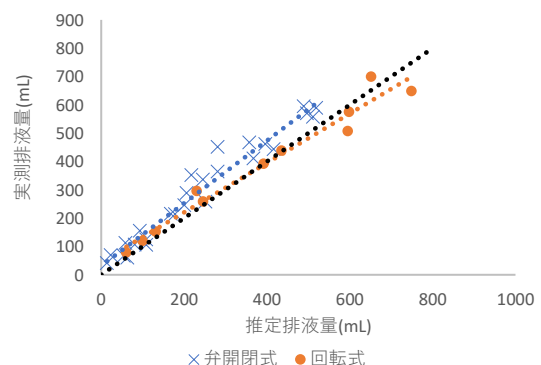


図2：予測排水量－推定排水量の関係

畜舎見回りロボットのためのフュージョンセンシング技術の検討

○中島歩夢・桜井大翔¹⁾・Sutan Muhamad Sadam Awal・
Pham Thanh Dong²⁾・岡安 崇史²⁾・光岡 宗司²⁾
(九大院生資環・¹⁾ 株クボタ・²⁾ 九大院農)

【はじめに】

畜舎における牛の飼育管理は、作業者による日常的な見回りに依存しており、継続的な作業負担に加え、夜間や作業者不在時における観察頻度の低下が課題となる。そこで本研究では、自律移動ロボットによる巡回撮影と、取得映像の保存、検索、再生、判読および集計を一体化したシステムを開発した。本報では、では実畜舎への適用に先立ち、学内の廊下および教室で巡回撮影試験を行い、システムの基本動作を検証について報告する。

【材料および方法】

供試ロボットには履带式移動ロボット UNiBO-600 RC を用い、計測制御用マイコン Jetson Orin Nano, IMU 内蔵 3D LiDAR (Livox MID-360), 左右履帯の回転数計測機能および RGB カメラを搭載した(図1)。Ubuntu 22.04, ROS 2 Humble 上にシステムを構築し、自律走行には Nav2(Navigation2)を用いた。事前計測では MID-360 の点群と IMU 情報を GLIM (Graph-based LiDAR-Inertial Mapping) で処理して 3D 点群地図を生成した。走行時には LiDAR および IMU を用いて自己位置を推定し、2D 地図による経路計画とリアルタイム点群による障害物検出を行った。

巡回試験は九州大学内の廊下および教室で実施した。ホーム地点から 6 か所の観察地点を順に巡回してホームへ帰還し、各地点で停止して動画を撮影・保存した。同一条件で 5 試行を行った。

動画は MP4 形式で保存し、撮影日時、地点、目標座標、ロボット位置・方位等を JSON 形式のメタデータとして関連付け、SQLite データベースへ登録した。また、日付や地点等による検索、ブラウザ上での再生、人による判読結果の入力および集計機能を実装した。評価項目は巡回完了率、目標地点到達率、動画保存成功率、走行距離、所要時間および目標地点到達残差とした(図2)。



(図1 ロボット実機の外観写真)



(図2 自律巡回システムの処理フロー)

【結果】

5 試行すべてで巡回を完了し、目標地点への到達は 35/35、動画保存は 35/35 で、いずれも成功率 100%であった。1 試行当たりの平均走行距離は 51.40 m, 平均所要時間は 368.16 s, 目標地点到達残差は平均 0.253 mであった。また、到着、停止、撮影、保存、次地点への移動を人的介入なく連続して実行できた。保存映像からは廊下および教室内の状況を確認できたが、今回の試験には牛などの動的な観察対象は含まれていない。

さらに、取得映像について、データベース登録から検索、再生、判読結果入力、集計までを一連のシステム上で実行できることを確認した。以上より、屋内自律巡回による映像収集と映像管理・判読支援を一体化したシステムの基本的な実行可能性を確認した。今後は実牛舎および牛を対象とした撮影・判読評価と、長期運用時のデータ管理性能を検証する。

マイコンを利用した非破壊糖度センサの開発

○新里良章・松浦竜之介・Akeme Cyril Njume¹⁾・平良英三
(琉球大農・¹⁾ 鹿大連農)

【はじめに】

沖縄県産マンゴーは全国生産量の約 50% を占め、本土市場へも出荷される重要な品目である。果実の評価は糖度 (Brix) が重視されるが、ブリックス計は搾汁を必要とする破壊測定のため出荷果実には使用できない。そのため、近赤外分光法による非破壊糖度検査装置 (以下、非破壊糖度センサ) が開発されており、出荷時の糖度推定に活用されている。

県内選果場では、等級が高い一部のマンゴーの糖度を非破壊で測定し、付加価値を付け高値で販売している。県内でも市販・利用されている非破壊糖度センサは高額 (K 社製約 150 万円) で、生産農家や JA 等の各選果場において広く普及・活用するには経済的な負担が大きく、導入が容易ではない。安価な非破壊糖度センサ (M 社 約 17 万円) も市販されているが、県内で生産されるどのような品種に適応可能であるか、その精度や仕様について不明な点が多い。本研究では、主にマンゴーの付加価値を高め、幅広い生産者や選果場で利用できる安価で信頼性が高く、比較的容易に製作が可能な非破壊糖度センサを開発する。また、光源をマイコンから制御し、対象物と光源の距離を可変とすることで多様な果実に対応できる非破壊糖度センサの構築を目的とする。

【開発装置概要および実験方法】

小型分光器、基盤、ハロゲンランプ、調光器、リレー、冷却ファン等で構成する測定装置を試作し、MATLAB により光源制御およびスペクトル取得を行った。分光ユニットには浜松ホトニクス株式会社製のミニ分光器 (分光器 C14465, 分光器基盤 C11708MA) を用い、USB で PC と接続する。MATLAB 上でデバイス付属のライブラリ (HMSUSB2.d11) を読み込み、オブジェクトの作成・デバイス初期化、測定モード・露光時間・測定回数の設定、データ取得、デバイスのクローズという一連の関数操作により分光データを取り込み、吸光度スペクトルの算出・グラフ作成までできるプログ

ラムを組んだ。測定装置は 2 台作製し、1 台は AC/DC アダプタ (12V・10A)、USB リレー (Youmile LCUS)、調光器 (DC12~24V・8A) を組み合わせた回路とし、MATLAB からのリレー ON/OFF 信号により光源 (ハロゲンランプ) の点灯・消灯を切り替える構成とした。他方は、Arduino Nano と MOSFET を用いた低コスト PWM 調光システムを構築し MATLAB から制御した。

装置性能を評価するため、アーウィン種マンゴー 52 個 (A 品 27 個、C 品 25 個) の果実表面 (両側) の上部・下部を 2 回ずつ測定し (電圧 8V, Sample/Reference/Dark を積算時間 25ms/15ms/15ms で各 50 回)、吸光度スペクトルを取得した。測定箇所をくり抜いて搾汁し Brix 値を実測して重回帰分析による検量モデルを作成した。

【結果および考察】

製作費 20 万円程度の安価な非破壊糖度センサを作製した。センサは光源の積算時間、測定回数などを MATLAB で設定しスペクトルを取得できる。また、調光器の制御も MATLAB から行うので分析やモデル作成の手間が容易であった。本装置で取得した吸光度スペクトルを 2 次微分スペクトルに変換し、Brix 値との相関を確認した結果、900nm 付近に強い負の相関を確認できた。検量モデルを作成するにあたり、先行研究で糖の判定に有効とされる 900nm を第一波長に固定した重回帰モデルを作成した。2 波長 (変数) の検量モデルを作成した結果、第二波長は 883nm となり、その時の推定精度は $R^2=0.91$, $SEC=0.54\%$ と良好な精度が得られた。これらの結果から、開発した装置は現在市販されている糖度センサと同等の性能を有していることが確認された。

【今後の予定】

マンゴーを用いて、同様の仕様で試作した 2 台のセンサの動作や精度の比較を行う。アーウィン以外の品種や他の果実の糖度測定への適応可能性を検証する。

NIR Spectroscopy for Quality Evaluation of First-Milled Sugarcane Juice under Different Milling Machine Adjustments

Akeme Cyril Njume^{1,20}, Yoshiaki Shinzato², and Eizo Taira^{1,2}

¹United Graduate School of Agricultural Sciences, and ²Kagoshima University; Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus

Introduction

Near-infrared spectroscopy (NIRS) offers significant advantages over conventional analytical methods, importantly the ability to simultaneously determine multiple parameters from a single measurement. A calibration model translates the unique recorded spectra information into relevant sample information. However, models are employed for a considerable period, such as within a harvest season, and over time the predictive performance declines.

Brix (total soluble solids) in cane juice is stored in thin-walled cells within the fibrous stalk structure. The common method of extracting juice consists of cutting the cane into billets and shredding it into fine pieces to maximize rupture (Peter, 2017). In raw sugar mills, first-milled juice is used to adjust the milling machine settings at the beginning of each harvest season, mainly after machine maintenance. However, the influence of milling machine settings and juice extraction on first-milled juice remains unknown.

This study evaluated the effects of high- and low-pressure milling machine settings using two juice extraction methods, and an NIR calibration model was built for process control of Brix in first-milled cane juice.

Materials and Methods

Cane billets (30-50 cm long) were harvested from a farmer's farm and the research field of Ryukyus University. A three-roller milling machine was

adjusted to high-pressure (HP: 18 cm) and low-pressure (LP: 23 cm) settings using a Vernier Caliper; applied to both the direct extraction method (DEM) and shredded extraction method (SEM). Cane billets (30 to 50 cm long) were cut transversely into equal halves; one half was pressed under the DEM HP setting and the other under the LP setting for DEM. For SEM, each half was first shredded using an automatic shredder and pressed under the corresponding HP and LP settings. Juice Brix was measured using a refractometer. Spectra data were acquired using an NIR spectrometer (400-2500 nm). Principal component analysis (PCA) and model development were conducted using MATLAB Software.

Results

PCA distinguished juice differences based on the milling machine condition (Figure 1). However, there were no significant differences in Brix values found among milling machine settings.

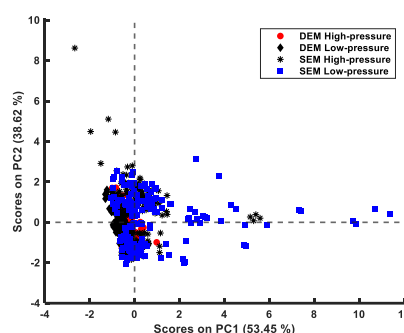


Figure 1. PCA score plot for juice quality

Conclusion

NIR can be used to monitor milling operations and characterize juice quality.

特別講演

特別講演

出荷後に赤くなるピーマンの流通低減を目的とした選果技術の開発

後藤航大

大分県農林水産研究指導センター

〒879-7111, 大分県豊後大野市三重町赤嶺 2328-8

要 旨

大分県は西日本最大の夏秋ピーマン産地であるが、産地および市場では赤果等の障害果の発生が課題となっている。なかでも、選果時には緑色で正常に見えるものの、流通過程で赤色へ変化する「潜在赤果」は、外観から判別することが難しい。栽培管理のみで赤果の発生を完全に防ぐことは難しいため、選果段階で潜在赤果を除外し、流通への混入を防ぐ必要がある。現在の選果作業は熟練者の経験と勘に依存しており、市場到着後の赤変が品質上の問題やクレームにつながった事例もある。そこで、潜在赤果の判別にAIや画像解析技術を取り入れ、選果時の画像からその後の赤変を予測する技術の開発を進めている。AIによる判別技術は、選果精度の向上や作業の省力化に加え、これまで明確でなかった潜在赤果の特徴を明らかにし、選果作業員による判別を支援できる可能性がある。潜在赤果の流通低減に向けては、判別精度の向上に加え、判定根拠の明確化および既存の選果工程に適用可能な技術の確立が課題となっている。

[キーワード] ピーマン，障害果，赤果，深層学習，画像分類，Grad-CAM，HSV

I. 研究の背景と目的

大分県の夏秋ピーマンは、臼杵市および豊後大野市などを中心に産地が形成されており、西日本最大の産地となっている。本県の夏秋ピーマン産地は比較的温暖な地域に位置し、高温条件下での栽培に加え、着果数の確保に伴う果実への負担も大きい。このような栽培条件を背景として赤果等の障害果が発生し、産地および市場における品質管理上の課題となっている。一方、栽培管理のみで赤果の発生を完全に防ぐことは難しいことから、選果段階で潜在赤果を除外し、流通への混入を防ぐ技術が必要である。

赤果の中には、選果時には緑色で正常に見えるものの、数日後に赤色へ変化する果実が存在する。選果時に健全と判断された 105 個を追跡した事例では、7 日後に 18 個が赤果へ変化した。本研究では、このような果実を「潜在赤果」と呼ぶ。潜在赤果には明確な外観判別基準がなく、現状の選果は熟練作業員の経験と勘に依存している。市場流通後の赤変が品質上の問題やクレームにつながった事例もあるため、選果時に迅速かつ客観的に判別する技術が求められている。

このため本研究では、選果時の画像から潜在赤果を事前に判別する技術の確立を目的として、深層学習を用いた画像分類モデルを構築した。1 日目に選果時の緑色果実を撮影し、5 日目に同一果実の赤変状態を確認した。5 日目の判定結果を1 日目の画像に対応させ、モデルの学習に用いた。さらに、モデルの判定根拠を可視化し、潜在赤果の判別に寄与する画像特徴の抽出と定量化を行った。

II. 潜在赤果判別モデルの構築

(1) 撮影および教師データの作成

大分県農林水産研究指導センター試験場内および大分県臼杵市の JA おおいた野津選果場から収集したピーマンを対象に、シブヤ精機株式会社製の専用撮影装置を用いて、可視光画像、蛍光画像および赤外線画像を撮影した。

2025 年 7 月から 10 月まで、各月 1,400 枚、計

5,600 枚を教師データとして用いた。1 日目に選果時の果実を撮影し、室温約 20℃で 4 日間保管した後、5 日目に同一果実を再度撮影して赤変状態を確認した。本試験では 5 日目の状態を評価基準とした。なお、市場到着後の品質チェックは選果から 4 日目に行われる。

深層学習に用いる教師データを作成するため、本研究独自の分類として、5 日目の撮影時に果皮に変色がないものを「正常」、果皮の変色率が 5 割未満のものを「赤果Lv1」、5 割以上のものを「赤果Lv2」と区分した。5 日目の判定結果を 1 日目の画像に正解ラベルとして付与し、画像分類用データセットを作成した。

(2) 学習および評価方法

画像分類モデルには ResNet50 を用いた。まず、正常、赤果Lv1 および赤果Lv2 の 3 分類モデルを画像種類別に構築した。次に、正常と赤果Lv1+Lv2 の 2 分類モデル、ならびに正常と赤果Lv2 の 2 分類モデルを構築した。モデル性能は Accuracy, Precision, Recall および F1 により評価した。選果用途では、赤果を正常と判定した場合に潜在赤果が流通へ混入することから、特に赤果側の Recall を重視した。

(3) モデルの評価結果

3 分類モデルでは、赤果Lv1 の画像特徴が正常と重なりやすく、総合的な評価指標が向上しにくい傾向がみられた。正常と赤果Lv1+Lv2 の 2 分類モデルでは評価指標が改善したものの、赤果Lv1 に起因する誤判定が残った。一方、正常と赤果Lv2 に対象を絞った 2 分類モデルでは判別性能が向上し、特に可視光画像を用いたモデルで最も高い評価が得られた(表 1)。

可視光画像モデルでは、評価用画像 975 枚のうち、赤果Lv2 を正常と判定したものが 38 件、正常を赤果Lv2 と判定したものが 10 件であった。これに対し、蛍光画像モデルでは、赤果Lv2 を正常と判定したものが 117 件、正常を赤果Lv2 と判定したものが 43 件であった。以上から、今回の試験条件では、可視光画像モデルは蛍光画像モデルよりも

誤判定が少なく、赤果Lv2 の判別に適していると考えられた。

Ⅲ. 判定根拠の可視化と色特徴の定量化

(1) Grad-CAMによる着目領域の確認

可視光画像による正常／赤果 Lv2 の 2 分類モデルに Grad-CAM を適用し、判定に寄与した領域をヒートマップとして可視化した。その結果、モデルは果実全体の形状だけでなく、果皮表面の局所領域に強く着目する傾向を示した（図 1）。このことから、撮影時点ですでに存在する微小な着色または色むらが判定に寄与しているとの仮説を設定した。

(2) HSV色空間による変色領域の抽出

撮影画像を HSV 色空間へ変換し、変色候補となる色域を $H=13\sim47$, $S=12\sim141$, $V=42\sim111$ として抽出した。抽出領域を黄色マスクとして元画像に重ね合わせ、果実画像に占めるマスク画素の割合を特定色占有率として算出した。

例示画像では、特定色占有率は正常 0.63%、赤果 Lv2 10.18%であり、赤果 Lv2 は正常より 9.55 ポイント高く、約 16.2 倍であった（図 2）。

この結果から、可視光画像モデルが参照した可能性のある果皮の色変化を、HSV 解析によって人が確認可能な形で可視化・定量化できることが示された。ただし、閾値の汎用性およびクラス全体における統計的妥当性については、供試果実数を増やして検証する必要がある。

Ⅳ. 現場実装に向けた課題と展望

機械選果への実装を想定した現場運用では、第一段階で可視光画像による正常／赤果 Lv2 の 2 分類モデルを用い、赤果 Lv2 へ進行する可能性のある果実を選別し、第一段階を通過した果実に対して赤果 Lv1 を対象とする追加判定を行う二段階判別方式が考えられる。赤果 Lv1 の検出精度を向上させるためには、クラス不均衡への対応、蛍光画像および赤外線画像の活用、果実の複数方向からの撮影、照明条件の最適化などを検討する必要がある。

現在、可視光画像の撮影については、RGB 三色 LED の組合せによる照明条件の比較を進めており、照明色の違いによって変色部と健全部との差を視覚的に強調できるかを検討している。今後は、色差の定量評価、供試果実数を増やした再現性の確認および正常果の誤除去の抑制を含め、現場利用に適した撮影条件を検証する。

選果施設を単なる仕分けの場ではなく、選果結果を蓄積する産地データ基盤として活用することも重要である。選果から得られた障害果の発生状況や品質に関するデータを、ほ場ごとの栽培履歴や環境データと連携させることで、障害果の発生に関係する栽培・環境要因の把握が可能になると考えられる。さらに、得られた知見を営農指導を通じて生産現場へ還元し、栽培管理の改善と選果結果の検証を継続する循環を構築することで、産地全体の品質向上と持続性に寄与できると考えられる。

V. まとめ

深層学習を用いた潜在赤果判別では、正常と赤果 Lv2 に対象を絞った可視光画像による 2 分類モデルが最も高い判別性能を示した。また、Grad-CAMおよびHSV色空間解析により、モデルが判定に利用した可能性のある果皮表面の局所的な色変化を可視化・定量化した。これらの結果から、選果時には緑色に見える果実であっても、その後大きく赤変する潜在赤果を画像から事前に判別できる可能性が示された。今後は、複数年度 of データを用いてモデルの汎化性能を検証するとともに、撮影・照明条件の最適化および選果作業員による判別を支援する手法について検討し、現場で活用できる選果支援技術の確立を目指す。

謝辞

本研究の実施にあたり、シブヤ精機株式会社、大分工業高等専門学校および JA おおいたの協力を得た。ここに記して謝意を表する。

表 1 各画像分類モデルの評価スコア

分類	画像	データ数	Accuracy	Precision	Recall	F1
3 分類	可視光	5,600	0.829	0.683	0.753	0.673
3 分類	蛍光	5,600	0.742	0.536	0.592	0.526
3 分類	赤外線	5,600	0.723	0.506	0.613	0.496
2 分類 正常 /Lv1+Lv2	可視光	5,600	0.885	0.853	0.889	0.857
2 分類 正常 /Lv1+Lv2	蛍光	5,600	0.783	0.737	0.752	0.732
2 分類 正常/Lv2	可視光	4,872	0.951	0.906	0.955	0.915
2 分類 正常/Lv2	蛍光	4,872	0.836	0.738	0.764	0.715

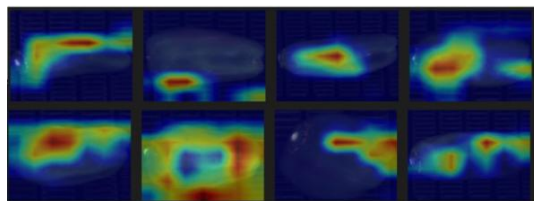


図 1 可視光画像 2 分類モデル（正常果／赤果 Lv2）の Grad-CAM 例

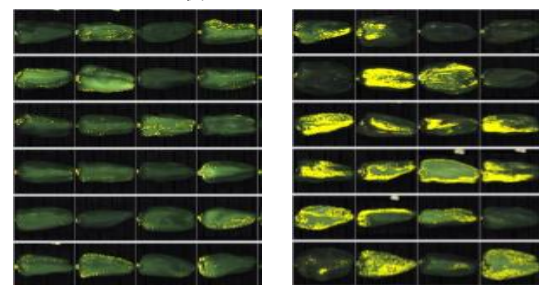


図 2 HSV 色空間による変色候補領域の抽出例
(左：正常果，右：赤果 Lv2)