



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of inspection and monitoring methodologies for postharvest fruit quality of avocados using non-invasive imaging technology
Author(s)	松井, 貴大
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第16766号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16766
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99611
Type	doctoral thesis
File Information	MATSUI_Takahiro_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



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 松井 貴大

審査担当者 主 査 准教授 小山 健斗
 副 査 教 授 小関 成樹
 副 査 教 授 岩渕 和則

学位論文題名

Development of inspection and monitoring methodologies for postharvest fruit quality of
avocados using non-invasive imaging technology
(非侵襲的イメージング技術を用いた
アボカド果実の収穫後品質の検査およびモニタリング手法の開発)

本論文は英文 143 頁、図 41、表 7、6 章からなり、参考論文 4 編が付されている。アボカドは、その高い栄養価から世界的に需要が拡大しているが、収穫後の追熟過程において真菌類に起因する内部腐敗が発生しやすく、ポストハーベस्टロスおよびそれに伴う経済的損失が大きな課題となっている。腐敗を引き起こす真菌類は果柄部（stem end）や果皮に潜伏し、追熟過程で急激に進行するが、アボカド果実は厚い果皮に覆われているため、外観から内部腐敗を判別することは困難である。このため、内部透過が可能な非破壊検査技術の確立が求められている。非破壊検査によりアボカド個体の内部腐敗を定量的に評価できれば、腐敗の早期検出や腐敗した果実の除去による二次的なカビ被害の拡大抑制にもつながる。本研究は、X 線画像および核磁気共鳴画像（Magnetic resonance imaging: MRI）を用い、アボカド果実内部における腐敗過程を時空間的に解明することを試みたものである。

1. X 線画像によるハス種アボカドの果柄部腐敗の非破壊検査モデルの開発

可視光や近赤外分光法を用いた方法では、厚い果皮に遮られ、内部腐敗の検知が困難である。本研究は、透過性に優れた X 線画像を用い、果実内部の密度変化に基づいて腐敗によって生じる空洞形成を検出するモデルを構築した。腐敗果実の X 線画像から、周辺部と比べて低密度を示す高輝度域を果実輪郭評価により抽出し、正答率 89%で果実の腐敗の有無を判別することに成功した。さらに、深層学習アルゴリズム（U-net++）を用いたセマンティックセグメンテーションを適用し、Stem-end

rotおよびBody rotを画素単位で高精度に識別することで、腐敗検出の正答率を98%まで向上させた。本成果は、目視や接触による人手で行われてきたアボカドの腐敗検査の機械化を可能とし、客観的に内部腐敗の検査を実現する基礎的な研究として、ポストハーベスト分野において高い価値を有する。

2. アボカドの内部腐敗の最適な検査時期の推定

アボカドの腐敗は一定の熟度に達するまで外観上顕在化しないため、検査時期の最適化が偽陰性の抑制に不可欠である。本研究では、5日間にわたり追熟に伴う果皮の色変化とX線画像で撮影される内部腐敗を、個体ごとに非破壊かつ経時的に追跡した。解析の結果、内部腐敗の顕在化は果皮の色変化と密接に関連しており、果皮の色が腐敗の発生時期の推定に有効な指標となることを見出した。さらに、収穫後検査を実施すべき果皮の色の範囲をカラーバーとして提示し、内部腐敗を検出可能な範囲を提示した。これにより、偽陰性を最小限に抑えた効率的な内部腐敗の検査体制の構築を提案することが可能となった。

3. 核磁気共鳴画像法（MRI）を用いたアボカド果実の成熟・追熟・腐敗の時空間的モニタリング手法の開発

核磁気共鳴画像法（MRI）を用いて、アボカド果実内部の成分分布および組織構造の変化を時空間的に解明した。MRIにより測定した脂肪分率と成熟の指標の乾物率の間に極めて高い相関（ $r=0.95$ ）があり、MRIがアボカド果実の成熟度の推定に有効であると示した。また、Transverse relaxation time（ T_2 ）値は、目に見える果肉の変色や組織学的損傷が発生する前に上昇し、腐敗が始まる周辺を示した。さらに、未熟段階から過熟段階までの期間におけるMRIモニタリングにより、個々の果実における真菌類の進行を追跡することができ、明確な形態学的パターンが明らかにした。具体的には、Stem-end rotが維管束に沿って縦方向に進行するのに対し、Body rotは腐敗部が放射状に拡大するという、腐敗の進行過程の違いを時空間的に明らかにした。

以上のように、本研究は非侵襲的イメージング技術と情報処理手法を統合し、アボカドの品質検査と損失削減に資する学術的・実用的基盤を確立したものである。よって、審査員一同は、本研究がポストハーベスト分野の発展に大きく寄与する卓越した成果であり、松井貴大氏が博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。