

学 位 論 文 要 旨	
氏 名	ジャスパー グレシヤ タラダ
題 目	NIR ハイパースペクトルイメージングによる果実および果菜類の収穫後の品質測定 (Post-Harvest Quality Determination in Fruit and Fruit-Vegetables using NIR Hyperspectral Imaging)
<p>消費者の食に対する品質や安全の高まりから、農産物の品質評価は重要になってきた。本研究では、スペクトル情報と画像情報とを融合したハイパースペクトルイメージング法を用いて農産物の内部品質特性を検討した。本研究は、近赤外線領域 (NIR) における果実や果菜類の収穫後の品質評価を非破壊で行う計測技術の開発を目的とした。その結果、以下のような知見を得た。</p> <p>1. イチゴにおける傷の検出 受傷直後における傷の検出は、果皮の内側で発生するために肉眼では困難である。本研究はイチゴの傷を検出するため、NIR ハイパースペクトルイメージング法について検討した。0~3N の力で傷を与えた熟度の異なるイチゴ 120 個 (品種: 章姫) を供試して、傷を受けた初日から 4 日後までの分光画像 (650~1,000nm, 5nm 間隔) を取得し、各画像における各ピクセルの拡散反射光強度を求め、三種類の評価法 (統計解析ソフトウェア SPSS による LDA, 二波長による差分法, ニューラルネットワーク) を用いて検討した。LDA の結果, 825nm と 980nm の分光画像に特徴があることを明らかにし、傷の測定は三評価法の中ではニューラルネットワーク法が優れていたが、実用的には、二波長による差分法が有用であることを明らかにした。</p> <p>2. マンゴおよびモモにおける傷の検出 マンゴやモモは完熟で収穫されるために、これらの果実は傷を受けやすい。本研究は、マンゴとモモを対象に、イチゴと同様な NIR 領域においてハイパースペクトルイメージング法を用いて傷の検出を行った。マンゴ (品種: アーウィン) は 0~8N の力で傷を与えた 10 個を供試して、モモ (品種: 川中島) は 0~6N の力で傷を与えた 18 個を供試して、受傷直後における分光画像 (650~1,000nm, 5nm 間隔) を取得した。各ピクセルの拡散反射光強度を求め、SPSS による LDA で解析した結果、モモでは 810nm と 960nm の分光画像に傷の計測で有益な特徴があることを明らかにした。しかし、マンゴでは傷の特徴を促す波長は強くは認められなかった。</p> <p>3. イチゴの硬度測定 果実の硬度は熟度や食感の指針となる。イチゴ (品種: 章姫) を用いて、650~1100nm の範囲を 5nm 間隔で分光画像を取得し、各ピクセルの拡散反射光強度を求め、SPSS の変数増減法 (MLR) で硬度 (MPa) と相関の高い 1~3 波長を選択し検量線を作成した。3 波長による熟度 (着色度) ごとの測定結果は、5 分着色以上で $R=0.786$, $SEP=0.350\text{Mpa}$ を得たことより、これらの適正な検出波長を選択することによって、イチゴの硬度測定が分光画像から非破壊で計測可能であることを示唆した。</p> <p>4. マンゴおよびモモの糖度測定 糖度は果実類の甘さの指針である。マンゴ 12 個 (品種: アーウィン) およびモモ 30 個 (品種: 一ノ宮) を用いて、650~1100nm の範囲を 2nm 間隔で分光画像を取得し、各ピクセルの拡散反射光強度を求め、SPSS の変数増減法を用いて糖度 (Brix) と相関の高い 1~5 波長を選択して検量線を作成した。5 波長による熟度 (着色度) ごとの測定結果は、マンゴで $R=0.791$, $SEP=1.499\text{Brix}$, モモで $R=0.799$, $SEP=0.826\text{Brix}$ を得た。これより、適正な検出波長の選択で糖度の測定が分光画像から非破壊で計測可能となることを示唆した。</p> <p>以上の結果、NIR ハイパースペクトルイメージング法によって、果実や果菜類における傷の検出、糖度の測定は適正な検出波長の分光画像を用いることにより、非破壊計測が可能であることを明らかにした。</p>	

学 位 論 文 要 旨

氏 名 Jasper Grecia Tallada

題 目 Post-Harvest Quality Determination in Fruit and Fruit-Vegetables using NIR Hyperspectral Imaging
(NIR ハイパースペクトルイメージングによる果実および果菜類の収穫後の品質測定)

Increasing concerns for food quality and safety by the consumers had prompted development of efficient techniques for quality assessment. Hyperspectral imaging combined spectrometry and imaging, which was used for internal quality assessment in this research. The overall goal of this research is to develop a non-destructive technique for assessing some of the post-harvest qualities of fruits and fruit-vegetables based on near infrared (NIR) hyperspectral imaging. The results were as follows:

1. Detection of Bruises in Strawberries

Latent bruises are difficult to detect because they occur beneath the fruit peel. This study aimed at developing techniques for detection of bruises in strawberries (*Fragaria x ananassa Duch.*) of 'Akihime' variety using NIR hyperspectral imaging. From 120 fruit samples at two levels of maturity that received 0 to 3.0 N bruising force levels, spectral images were taken (650 to 1000 nm at 5 nm wavelength intervals) from 0 to 4 days after bruising. Using stepwise linear discriminant analysis (LDA) of SPSS, optimal wavelengths of 825 nm and 980 nm were identified. The three judgment methods (LDA, normalized difference and artificial neural network) had similar performance the ANN had performed exceedingly well, however the normalized difference method was found more useful because of its remarkable simplicity of implementation. Additionally, the extent of bruising damage detected had markedly decreased with time.

2. Detection of Bruises in Mangoes and Peaches

Mangoes and peaches are normally harvested full-ripe to maximize their flavor and are susceptible to damages such as bruising. This study aimed at developing a non-destructive technique to detect bruises in mangoes (*Mangifera indica L.*) and peaches (*Prunus persica*) using NIR hyperspectral imaging. From 18 fruits of peaches of 'Kawanakajima' variety at 0 to 6 N of bruising force levels, and from 10 fruits of mangoes of 'Irwin' variety at 0 to 8 N of bruising force levels spectral images were taken (650 to 1000 nm at 5-nm intervals) right after application of bruises. Using LDA of SPSS, 810 and 960 nm were selected for peaches. However for mangoes, wavebands to give suitable bruise detection were not obtained.

3. Estimation of Firmness in Strawberries

Firmness is typically used as an indicator of fruit ripeness maturity and eating quality. This study aimed at developing prediction models for firmness in strawberries using NIR hyperspectral imaging. From freshly harvested strawberries of 'Akihime' variety at three levels of ripeness, NIR hyperspectral images (650-1000nm at 5-nm intervals) were taken and calibration models were developed using stepwise multiple linear regression (MLR). The three-wavelength prediction model for firmness had a correlation of 0.786 and a standard error for prediction (SEP) of 0.350 MPa.

4. Estimation of Soluble Solids Content in Mangoes and Peaches

Soluble solids content is a fine indicator of sweetness of fruits. This study aimed at developing prediction models for non-destructive estimation of sweetness in terms of soluble sugar contents in mangoes and peaches using NIR hyperspectral imaging. From 12 pieces of mango fruits of 'Irwin' variety and 30 pieces of peaches of 'Ichinomiya' variety, NIR hyperspectral images (650-1000nm at 2-nm intervals) were taken and calibration models were developed using stepwise MLR. The five-wavelength calibration model gave a correlation of 0.799 and 0.791 with an SEP of 0.826 and 1.499 %Brix, for peaches and mangoes, respectively.

With these results, NIR hyperspectral imaging was found useful for the non-destructive detection of bruises and determination of firmness and soluble solids content in fruit and fruit-vegetables.

学位論文審査結果の要旨	
学位申請者 氏名	ジャスパー グレシャ タラダ
審査委員	主査 宮崎 大学 教授 永 田 雅 輝
	副査 宮崎 大学 教授 辰 巳 保 夫
	副査 琉球 大学 教授 秋 永 孝 義
	副査 佐賀 大学 教授 内 田 進
	副査 鹿児島 大学 教授 守 田 和 夫
審査協力者	
題 目	Post-Harvest Quality Determination in Fruit and Fruit-Vegetables using NIR Hyperspectral Imaging (NIR ハイパースペクトルイメージングによる果実および果菜類の収穫 後の品質測定)
<p>近年、消費者の「食」に対する要望は安全・安心にあり、農産物の品質評価・検査への厳密さが要求され始め、従来にも増して評価・検査の重要性が高まってきた。本研究は、近赤外線領域におけるハイパースペクトルイメージング法 (NIR-HSI) を用いて、非破壊による果実や果菜類の品質評価・検査技術を明らかにすることを目的とする。NIR-HSI が農産物に応用され始めたのは、米国では1990年代中後期頃からで、我が国では2000年前後からである。このように本計測の農業分野への発展は至って最近であることから、計測法の確立が求められている。本研究によってNIR-HSIによる品質評価・検査技術が確立されれば、これまでよりも高精度な選別・出荷体制が期待される。得られた研究成果の概要は、以下の通りである。</p> <p>1. イチゴにおける傷の検出および硬度の測定</p> <p>(a) 傷検出 受傷直後の傷は果皮内側で発生するために肉眼での検出は困難であることから、イチゴ表層下の傷を検出するためのNIR-HSIについて検討した。0~3Nの力での傷を与えたイチゴ(品種:章姫)を120個供試して、受傷初日から4日後までの分光画像(650~1000nm, 5nm 間隔)を取得し、各画像における各ピクセルの拡散反射光強度を求め、三種類の評価法(統計解析ソフトSPSSによるLDA, 二波長による差分法, ニューラルネッ</p>	

トワーク (ANN) を用いて検討した。LDAの結果, 825nmと980nmの分光画像に特徴があることを明らかにした。傷の測定は三評価法の中ではANNが優れていたが, 実用的には二波長による差分法が有用であることを明らかにした。

(b) 硬度測定 果実硬度は熟度や食感の指針となるものである。イチゴ (品種:章姫) を用いて, 650~1100nmの範囲を5nm間隔で分光画像を取得し, ピクセル毎の拡散反射光強度値から変数増減法を用いて硬度と相関の高い波長 (1~3波) を選択して検量線を作成した。5分着色以上の熟度における3波長を用いた測定結果, $R=0.786$, $SEP=0.350\text{Mpa}$ を得たことより, 適正な波長の分光画像からイチゴの硬度を非破壊で計測可能となることを示唆した。

2. マンゴ, モモにおける傷の検出および糖度の測定

(a) 傷検出 マンゴやモモは完熟で収穫されるので傷を受けやすいため, その検出法が要求されている。マンゴ (品種:アウソ) では0~8Nで傷を与えた10個を, モモ (品種:川中島) では0~6Nで傷を与えた18個を供試して分光画像 (650~1,000nm, 5 nm間隔) を取得後, LDAによる解析の結果, モモでは810nmと960nmの分光画像に傷の特徴があることを明らかにした。しかし, マンゴでは傷の特徴を顕著に予測する波長の分光画像は認められなかった。

(b) 糖度測定 糖度の計測はかなりの果実で普及してきている。本研究では, マンゴ12個 (品種:アウソ) およびモモ30個 (品種:一ノ宮) を用いて, 650~1100nmの範囲を2nm間隔で分光画像を取得し, 変数増減法にて糖度 (Brix) と相関の高い波長 (1~5波) を選択して検量線を作成した。5波長による熟度ごとの測定結果は, マンゴで $R=0.791$, $SEP=1.499\text{Brix}$, モモで $R=0.799$, $SEP=0.826\text{Brix}$ を得た。これより, 適正な波長の分光画像を用いて糖度の非破壊計測が可能であることを示唆した。

以上の結果, NIR-HSIは, 果実や果菜類における傷の検出, 硬度や糖度の非破壊計測に有用であることを明らかにした。本研究の一部は, 04年と05年の米国農業工学会 (ASAE) 国際年次大会においてEIT論文賞を授賞している。

本研究は農産物に対する消費者の安全・安心のニーズに応えられるような品質評価・検査の新技术の手法を究明したもので, 農業機械学的に意義があるものと評価できる。したがって, 審査委員一同は, 本論文が博士 (農学) の学位論文として十分な価値があるものと判定した。

最終試験結果の要旨	
学位申請者氏名	ジャスパー グレシヤ タラダ
審査委員	主査 宮崎 大学 教授 永 田 雅 輝
	副査 宮崎 大学 教授 辰 巳 保 夫
	副査 琉球 大学 教授 秋 永 孝 義
	副査 佐賀 大学 教授 内 田 進
	副査 鹿児島 大学 教授 守 田 和 夫
審査協力者	
実施年月日	平成 18 年 7 月 29 日
試験方法 (該当のものを○で囲むこと。) <input checked="" type="radio"/> 口答 <input type="radio"/> 筆答	
<p>主査及び副査は、平成18年7月29日の公開審査会において学位申請者に対して、学位申請論文の内容について説明を求め、関連事項について試問を行った。具体的には別紙のような質疑応答がなされ、いずれも満足できる回答を得ることができた。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は申請者が博士（農学）の学位を受けるに必要な十分の学力ならびに識見を有すると認めた。</p>	

学位申請者
氏 名

ジャスパー グレシャ タラダ

[質問1] タングステン・ハロゲンランプ、液晶フィルター、CCD冷却カメラの特性は適切であったか。

[回答1] 本研究では、これらの機器は最も重要な機器であるので、十分に吟味して、実験装置を構成しました。各機器はそれぞれに一般的な特性を持っていたので、測定は可能でした。特に撮影機器は高性能、高感度の冷却CCDカメラを使用したことで、従来使用していたカメラに比べると適切な分光画像が取得できました。なお、論文に各機器の性能特性を追記いたしました。

[質問2] 傷の検出で980nmが重要としているが、その理由はなぜか。

[回答2] 980nm付近は、物質内の水の吸収波長域として知られています。本実験でも、その波長での分光画像が他の波長での分光画像とは反射光強度が画像濃淡度で明らかに違っていました。この波長の分光画像に特徴が出たことから重要な波長域と考えました。

[質問3] イチゴは熟度の違いによる硬度差は少ないと思われるが、どうしてイチゴを供試材料に選んだのか。

[回答3] イチゴは、果皮が軟らかくデリケートであり、収穫や選別時のハンドリングで傷つきやすい果実です。本研究ではイチゴの品質評価研究の一環として供試しました。硬度はハンドリング（収穫、選別）時の受傷（圧傷）とに関係しますので、今後の機械化・ロボット化による損傷軽減の基礎資料とするものです。

[質問4] 本実験では、クロロフィルの吸収波長が680nmにシフトしていますが、なぜですか。

[回答4] ある文献ではクロロフィルの最大吸収波長は678nm付近とありました。本研究は果実を分光画像として取得し、適正な画像部分をピクセル毎に反射光強度値を求め、平均値をデータとして扱います。果実ごとに多少の違いが見られ、グラフからは675~680nmにありましたが、統計処理（SPSS）の結果から、680nmの値が強く選択されました。

[質問5] 硬度と波長の関係で、70% to full-ripe maturityでは680nmと990nmを使用し、50% to full-ripe maturityは685nmと985nmを使用しているが、波長が違うのはなぜか。

[回答5] 70% to full-ripe maturityと50% to full-ripe maturityは、供試イチゴの熟度範囲が異なり、前者は熟度70%以上を含み、後者は50%以上を含みます。よって、後者が幅広い熟度範囲のイチゴを試料にした場合の結果です。統計解析において、これらの試料分布の違いが波長の選択に現れたものです。両者は近似値として扱えます。

[質問6] 糖度の非破壊検査はかなり実用化されているが、ハイパースペクトルイメージを用いるのはなぜか。特徴、優位性はあるのか。

[回答6] 実用化されている糖度測定システムは近赤分光器（光センサー）によるもので、

計測範囲が部分的（スポット）です。果実は一様な糖度分布ではないので、全面計測により、より正確な計測が求められます。本法は画像であることから果実全面の計測が可能となる特徴があります。また、果実の糖度分布を疑似化して表現することもできます。欠点はデータ数が多くなり、その処理に時間を要することです。

[質問7] 傷の検出試験で加えた力の0～3 Nは、通常のハンドリング時にかかる外力とに関係があるのか。

[回答7] 今回の試験では収穫や選別のハンドリングの外力は計測していませんが、以前の測定ではイチゴが外力を受けて傷として残る外力は150 g 前後でした。今回の試験に用いた力はその範囲をカバーしております。

[質問8] 受傷後3-4日目のイチゴの受傷跡は確認できたか。

[回答8] 受傷後のイチゴは5℃の冷暗室に貯蔵しました。経過後の傷は肉眼では見にくい状態でしたが、分光画像では、はっきりと検出できました。

[質問9] 傷の判定で用いた三種類の評価法はどれが最適と思われるか。

[回答9] 傷の測定は、三評価法の中ではニューラルネットワーク法（ANN）が優れていましたが、実用的には、二波長による差分法が有用的であると思われます。

[質問10] 撮影時の温度は分光画像の取得に影響しないか。温度管理はしたのか。

[回答10] 撮影時は外乱光を遮断する必要があります。また、光源から発する熱の影響は、分光画像に影響があります。そのために撮影装置は暗幕と黒色ボードで囲い、試験中の暗室内はクーラーで22℃に設定しました。

[質問11] イチゴの生物降伏点は測定したか。プランジャーに球形を用いた理由はなにか。

[回答11] 今回の研究では生物体降伏点は測定しませんでした。プランジャーに球形を用いた理由はハンドリング時の指による外力を想定したからです。