

学位論文要旨	
氏名	小林 太一
題目	ハイパースペクトルイメージングによる青果物の品質評価・検査に関する基礎的研究 (Basic studies on quality estimation and testing for fresh fruits and vegetables using hyperspectral imaging)
<p>近年、食に対する消費者の健康・安全指向の強い高まりから、農産物の品質評価・検査は、これまで以上に厳密さが要求されるようになった。本研究では、農産物の品質特性抽出に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、サツマイモ（紫イモ）およびイチゴのアントシアニン色素分布の評価およびイチゴの糖度予測を検討したものである。</p> <p>ハイパースペクトルイメージングでの画像取得は、液晶可変フィルターと高感度冷却CCDカメラを用いて、450～1000nmの範囲を1nm間隔で連続的に行った。取得した分光画像と化学分析値との間で重回帰分析を行い検量線を作成し、この検量線を画素ごとに適用して成分分布の可視化画像を作成した。その結果、以下のような知見を得た。</p> <p>1) サツマイモ（紫イモ）のアントシアニン色素分布の可視化</p> <p>アヤマラサキでは、分光画像の523nmと抽出液の525nmにおける吸光度には強い関係が認められた。523nmを第一波長として5波長で検量線を作成した結果、重相関係数$R=0.921$、標準誤差$SEP=0.052$であった。ムラサキマサリでは、分光画像の523nmと抽出液の526nmにおける吸光度には強い関係が認められた。523nmを第一波長として5波長で検量線を作成した結果、$R=0.830$、$SEP=0.017$であり、予測精度は良好であった。また、この検量線を各画素に適用し、アントシアニン色素分布の可視化画像と分布割合のグラフを作成し、個体間の評価を試み、ハイパースペクトルイメージングの有用性を確認した。</p> <p>2) イチゴのアントシアニン色素分布の可視化</p> <p>分光画像の508nmと抽出液の504nmにおける吸光度には強い関係が認められた。508nmを第一波長として5波長で検量線を作成した結果、重相関係数$R=0.932$、標準誤差$SEP=0.213$であり、予測精度は良好であった。この検量線を各画素に適用して作成したアントシアニン色素分布の可視化画像と分布割合のグラフから、個体間の評価が可能であった。また、予測精度への撮影距離の差は20mm程度では影響なかったことから、イチゴのような小形果実へのハイパースペクトルイメージングの有用性が示唆された。</p> <p>3) イチゴの糖度予測</p> <p>近赤外領域の分光画像データを用いた回帰分析の結果、1～10分、1～2分、3～6分、7～10分着色の各着色区分において、910nm近傍で糖度の吸収帯が確認された。この波長を第一波長とした検量線を各着色区分ごとに作成した結果、1～10分着色で重相関係数$R=0.690$、標準誤差$SEP=0.614$、1～2分着色で$R=0.0778$、$SEP=0.432$、3～6分着色で$R=0.796$、$SEP=0.377$、7～10分着色で$R=0.870$、$SEP=0.430$であった。このように、着色度別に作成した糖度の吸収帯を第一波長とした検量線を用いると精度は上がることが明らかになった。</p> <p>以上の結果、ハイパースペクトルイメージング法によって、アントシアニン色素評価および糖度予測が可能であることが確認された。</p>	

学 位 論 文 要 旨

氏 名 Taichi Kobayashi

題 目 Basic studies on quality estimation and testing for fresh fruits and vegetables using hyperspectral imaging
(ハイパースペクトルイメージングによる青果物の品質評価・検査に関する基礎的研究)

Recently, while consumers are more concerned with better health and enhanced safety of food products, quality estimation and testing of agricultural produce is more incessantly pursued than ever before. In this research, using hyperspectral imaging that combines spectral and image information for estimating quality of agricultural products, the anthocyanin pigment content distribution in purple-flesh sweet potato and strawberry, and prediction models for estimating sugar content in strawberries were developed. A hyperspectral imaging system was developed based on a liquid crystal tunable filter and CCD camera that acquires images from 450 nm to 1000 nm at 1 nm interval. Using multiple linear regression between spectral images and chemical analysis values, calibration models were developed and applied to form the distribution maps of chemical contents. The results are shown as follows:

1) Visualization of Anthocyanin Pigment Distribution in Purple-flesh Sweetpotato

In *AYAMURASAKI*, while the spectral image at 523 nm and liquid extracted pigment at 525 nm have shown high correlation, the five-wavelength model had a correlation coefficient (R) of 0.921 with a standard error of prediction (SEP) of 0.052. In *MURASAKIMASARI*, while the spectral image at 523 nm and the liquid extracted pigment at 526 nm have shown high correlation, the five-wavelength model had a R of 0.830 with a SEP of 0.017. By applying these calibration models, distribution maps and percentage graphs were produced to estimate the anthocyanin pigment of purple-flesh sweetpotato.

2) Visualization of Anthocyanin Pigment Distribution in Strawberry

The spectral image at 508nm and liquid extracted pigment at 504nm had a strong correlation. The five-wavelength model had a R of 0.932 with a SEP of 0.213. By applying these calibration models, distribution maps and percentage graphs were produced to estimate the anthocyanin pigment in strawberry. To account for the effects of fruit size, the distance between the camera and samples was varied by around 20 mm because the mean radius of strawberry fruits is less than 20 mm. However, it did not affect the results.

3) Prediction of Sugar Content in Strawberry

The results of prediction models developed for estimating sugar content in strawberries using NIR hyperspectral imaging had confirmed the importance of spectral neighborhood around 910 nm at several ripeness groups of 10%-Full, 10-20%, 30-60% and 70%-Full ripeness. The best model for the samples of entire 10% -Full ripeness had an R of 0.690 and SEP of 0.614; the samples of 10-20% had an R of 0.778 and SEP of 0.432; the samples of 30-60% had an R of 0.796 and SEP of 0.377; and the samples of 70%-Full ripeness had an R of 0.870 and SEP of 0.430. The accuracy of predictions of the models according to level of ripeness were reasonably good.

With these results, the anthocyanin pigment and sugar content estimation using hyperspectral imaging was found possible.

学位論文審査結果の要旨	
学位申請者 氏 名	小 林 太 一
審査委員	主査 宮崎 大学 教授 永 田 雅 輝
	副査 宮崎 大学 助教授 津 野 和 宣
	副査 鹿児島大学 教授 宮 部 芳 照
	副査 佐賀 大学 教授 内 田 進
	副査 琉球 大学 教授 秋 永 孝 義
審査協力者	
題 目	ハイパースペクトルイメージングによる青果物の品質評価・検査に関する基礎的研究 (Basic studies on quality estimation and testing for fresh fruits and vegetables using hyperspectral imaging)
<p>最近の「食」に対する消費者の要望は、健康・安全指向の高まりから、これまで以上に農産物の品質評価・検査への厳密さが要求されるようになってきた。本研究は、これら消費者の要求に応えられるように、現在行われている農産物の評価・検査に加えて、特に健康面からの評価・検査となる機能性色素と内部評価に関して、生産現場で光学的（非破壊的）に即座に評価・検査できるシステムの構築を目的に、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、サツマイモ（紫イモ）およびイチゴのアントシアニン色素分布の評価およびイチゴの糖度予測について検討したものである。結果の概要は以下の通りである。</p> <p>1) ハイパースペクトルイメージング法の確立</p> <p>ハイパースペクトルイメージング法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あり、我が国では2000年直前以降からである。このように本計測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。本研究ではハイパースペクトルイメージングによる画像取得は、液晶可変フィルタと高感度冷却 CCD カメラを用いて450～1000nmの範囲を1nm間隔で連続的に行った。取得した分光画像と化学分</p>	

析値との間で重回帰分析を行い、検量線を作成した。評価・検査は画素ごとに検量線を適用して得られた成分分布の可視化画像より行う方法を提案した。

2) サツマイモ（紫イモ）のアントシアニン色素分布の可視化

アヤマラサキの場合、分光画像の523nmと抽出液の525nmにおける吸光度に強い関係が認められたので、523nmを第一波長として5波長の検量線を作成した結果、重相関係数 $R=0.921$ 、標準誤差 $SEP=0.052$ であった。ムラサキマサリでは、分光画像の523nmと抽出液の526nmにおける吸光度に強い関係が認められたので、523nmを第一波長として5波長の検量線を作成した結果、 $R=0.830$ 、 $SEP=0.017$ であり、予測精度は良好であった。また、アントシアニン色素分布の可視化画像と分布割合のグラフから個体間の評価を試み、ハイパースペクトルイメージングの有用性を確認した。

3) イチゴのアントシアニン色素分布の可視化

分光画像の 508nm と抽出液の 504nm における吸光度に強い関係が認められたので、508nm を第一波長として 5 波長の検量線を作成した結果、重相関係数 $R=0.932$ 、標準誤差 $SEP=0.213$ であり、予測精度は良好であった。個体間の評価は、アントシアニン色素分布の可視化画像と分布割合のグラフから可能であった。また、予測精度への撮影距離の差は 20mm 程度では影響がなかったことから、イチゴのような小形果実へのハイパースペクトルイメージングの有用性が示唆された。

4) イチゴの糖度予測

近赤外領域の分光画像データを用いた回帰分析の結果、1~10分、1~2分、3~6分、7~10分着色の各着色区分において、910nm 近傍で糖度の吸収帯が確認された。この波長を第一波長とした検量線を各着色区分ごとに作成した結果、1~10分着色で重相関係数 $R=0.690$ 、標準誤差 $SEP=0.614$ 、1~2分着色で $R=0.0778$ 、 $SEP=0.432$ 、3~6分着色で $R=0.796$ 、 $SEP=0.377$ 、7~10分着色で $R=0.870$ 、 $SEP=0.430$ であった。このように、着色度別に作成した糖度の吸収帯を第一波長とした検量線を用いると精度は上がることが明らかになった。

これらの結果から、ハイパースペクトルイメージング法によって、アントシアニン色素評価および糖度予測が可能であることが示唆された。

以上のように、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・検査の新技术について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	小 林 太 一
審査委員	主査 宮崎 大学 教授 永 田 雅 輝
	副査 宮崎 大学 助教授 津 野 和 宣
	副査 鹿児島大学 教授 宮 部 芳 照
	副査 佐賀 大学 教授 内 田 進
	副査 琉球 大学 教授 秋 永 孝 義
審査協力者	
実施年月日	平成 18 年 1 月 14 日
試験方法 (該当のものを○で囲むこと。) (口答) 筆答	
<p>主査及び副査は、平成18年1月14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、関連事項について質問を行った。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	小 林 太 一
<p>[質問1]分光画像と抽出液におけるアントシアニン吸収波長の差違の要因は何か。</p> <p>[回答1]測定物（液体，固体）の差および測定機の差が影響したものと思われる。</p> <p>[質問2]紫イモにおいては破壊して計測をしているが，非破壊計測ではどうか。</p> <p>[回答2]果皮表層の計測は可能であるが，果肉内部のアントシアニン分布状態が把握できない。</p> <p>[質問3]選果場においてイモを洗浄後に計測するとなると，果皮表面におけるアントシアニンの分布濃度が変わることが予想されるので，内部計測の方が適切である。この時，透過光画像から評価してみてもどうか。</p> <p>[回答3]本実験に際して透過光画像の検討を行った結果，光源となるハロゲンランプの照射光量測定時にレンジオーバーが生じたことから，反射光における画像取得とした。</p> <p>[質問4] 選果ラインなどでは計測速度が要求される。本実験においては二次微分スペクトルを用いて検量線の作成をしているが，原スペクトルを用いた相関は得られなかったのか。</p> <p>[回答4] 二次微分スペクトルから作成した検量線評価精度より劣る結果となり，原スペクトルを用いた検量線では，相関係数は0.8前後の評価精度であった。</p> <p>[質問5]近赤外分光法を用いた選果ラインの処理能力は，10（個/秒）であるのに対して，本計測は時間がかかり過ぎるのではないか。</p> <p>[回答5]実用化に向けての研究は，新たな撮影技術の開発，ライティング技術の開発，検量線の開発などを検討する。</p> <p>[質問6]実用化に向けて安価な装置にすると，精度の低下はどうか。</p> <p>[回答6]CCDカメラを安価にした場合，イチゴの糖度予測ではさほど劣らないことを確認している。</p> <p>[質問7]殺菌剤の吸収帯が長波長に確認されているが，本計測法を応用することはできるか。</p> <p>[回答7]供試した撮影装置は波長計測範囲が420-1100nmであるので，それ以外の波長領域での計測はできないが，本計測法は殺菌剤の吸収帯の抽出を試みる手法としての可能性はある。</p> <p>[質問8]対象物に観察される多数の傷，菌類の検出は可能か。</p> <p>[回答8]エンジン表面に観察される3種類の損傷部位の特徴抽出を行った結果，傷の確認</p>	