

液晶フィルターを用いた分光画像による青果物の品質検査の試み

永田雅輝・小林太一・梶島芳徳・M. アムリ・後藤有美子・戸次里枝

宮崎大学農学部生産環境システム学講座

(2004年1月26日受理)

Basic Studies for Trial on Quality Estimation and Test for Fresh Fruit and Vegetables from Spectral Image Using Tunable Imaging Filter

Masateru NAGATA, Taichi KOBAYASHI, Yoshinori GEJIMA, M. AMRI, Yumiko GOTO, Rie HETSUGI

Division of Agricultural Environmental Systems, Faculty of Agriculture, University of Miyazaki

Summary : Nowadays, consumers demand for quality of foods, the categories were safety, safe to nature and functionality. Hence the purpose of research is feature extraction color of agriculture production and consider to a bruise using spectral image. Firstly characteristic of tunable imaging filter was examined.

Standard cards (red, orange, yellow, green, blue, indigo blue, and purple), and some fruits such as carrot, banana and green pepper were used in the experiment.

Spectral Image was acquired in 450-650 nm in wavelength region, by interval 5 nm. Intensity reflection of the photographic to object under a halogen lamp was computed. From relation between spectral image and reflected light, the object color in each wavelength had the largest reflective intensity of the photographic, namely white. Moreover, gray image is similar pattern to the waveform of wavelength was obtained.

For feature extraction of a bruise of a carrot, spectral image was acquired by 500-640 nm in interval 5 nm wavelength region.

Color a bruise in spectral image of wavelength region, for result and for the feature extraction were performed appropriately.

If suitable wavelength is selected, Target Quality Estimation/Testing of Agricultural Production can be achieved.

Key words : Quality Testing, Spectral Image, Tunable Imaging Filter, Fruit and Vegetables

緒言

昨今の日本人の食生活は、「飽食の時代」から「趣食の時代」へと変化し、消費者にとっては、価格面・栄養面といったものだけではなく、品質、鮮度および原産地などが関心事となっている。一方、健康志向の意識が強い事から、老化・発ガンの防止や、身体の調節作用を助ける効果がある野菜・果実成分の「機能性」も重視されてきている。また、残留農薬やBSE等の問題から食品に対する「安全性」にもかつてなく関心が高まっている。このことから、生産現場では「安心・安全性・機能性」といった消費者ニーズに応えられるように、これまで以上に厳格化された高品質な農産物の出荷体制が要求され、そのための評価・検査体制を整える必要がある。

近年の科学的な分析法の発達によって、様々な青果物の内容成分分析を行う事はできるが、破壊的な方法を取らなければならず、工業製品のような個々の検査は不可能であった。近年ではスイカ・リンゴ・モモなどの一部の作物においてはその品質評価システムが大規模選果施設などで導入されつつあるが、未だに生産者や検査員による目視の判定にたよる作物も多く、対象作物の拡大、正確な評価技術の確立および低コスト化が望まれている。(Evans, M. D. et al. 1998; 本間1989; 加藤1995; Laykim, S. et al. 2002; 永田 2002a, 2002b; 杉山 2001)

そこで本研究は、青果物の品質検査システム化の手法として、分光画像法に着目し、可視光領域(カラー)用液晶フィルターを用いて二、三の青果物についての品質検査の可能性を試み、その基礎的試料を得たので報告する。

装置および方法

1. 液晶フィルター

従来、スペクトルの情報は、予め用意した干渉フィルター、または、吸収フィルターの組合せ、連続的な波長を提供する回折格子を使用した機械、固体結晶複屈折フィルターによって光をフィルタリングすることによって得られていた。しかし、今まで大口径で、しかもアクセスタイムの速いチューニング方式はなかった。これらのことを背景に開発されたのが液晶フィルターである。よって、これまで以上に、分光画像の取得および解析が容易になると思われる。

本研究で用いた液晶フィルター (VARISPEC™ TUNABLE FILTER) は図1のような可視光(400-700 nm)用に開発されたVS-V153-10-HC-20 (米国CRI社)である。仕様は表1のようになっている。本フィルターは、偏光子とネマティック液晶セルを積層することで構成されて、印加電圧を可変することにより任意の波長成分の光を取り出す事が可能である。主な特徴は、10 nm帯域幅で連続波長操作が可能、フィルター口径20 mm



Fig. 1. Tunable Imaging Filter. (CRI, USA)

Table. 1. Performance Specification

波長レンジ (nm)	帯域幅 (nm)	平均バンド 外透過光	有効径 (mm)	光学系 ハウジング
400~700	10	HC	20	STD
応答時間(25℃にて)		50 ms (ランダムアクセス)		
最大入射照度		500 mW/cm ²		
許容角(半角), 波長精度		± 7°, 帯域幅/8		
貯蔵(動作時)度範囲		0~45℃ (20~45℃)		
インターフェイス		RS-232C/TTL/ビデオ同期		
寸法		79 mm×51 mm×50 mm		

での画像処理が可能，波長選択が高速でランダムアクセス可能等である．

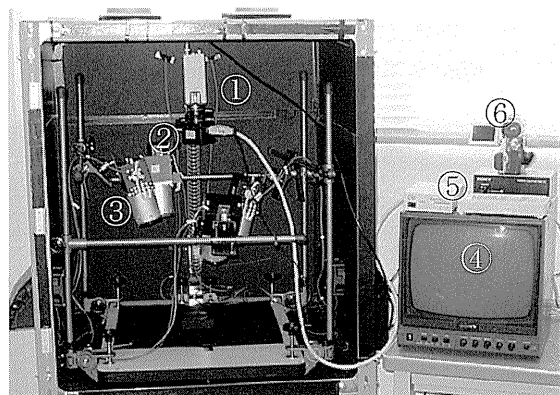
2. 測定装置

(1) 分光画像用測定器

青果物の色（機能性と関係）や病虫害損傷部位等の特徴抽出に，分光画像を用いる場合，高品質な画像を入力する事が画像処理を容易とする．そのために照明条件の取り扱いが重要となる．本研究では，照明装置の構築にあたって，1. 外乱光の影響：昼や夜，天候などによる外乱光の影響，2. 照明の方向：反射，影および照射ムラがないこと，の条件を満たすこととした．

図2は，今回構築した照明装置（ボックス型）である．照明にはハロゲンランプ（50 W）を光源とする③ダイレクトライト（石井工業製）を，陰およびハレーションが出来にくいように被写体に対して前後左右の4ヶ所（高さ350 mm）に設置した．この時の照明照度は2300 luxであった．また，外乱光の影響を除去するために，装置全体をブラックボードおよび暗幕で囲んだ．

撮影器具は，①カメラ（SONY CCD VIDEO CAMERA AVC-D5）にレンズ（COCMICAR TELEVISION LENS 1 : 1.4 f=16 mm）と②液晶フィルター（米国CRI社：VARISPEC™ TUNABLE FILTER VS-V153-10-HC-20）を取り付け，被写体の上方500 mmに設置した．撮影は



- ①カメラおよびレンズ
- ②液晶フィルター
- ③ダイレクトランプ
- ④モニター
- ⑤ハンドヘルドコントローラ
- ⑥デジタルビデオカメラ

Fig. 2. Lighting equipment.

レンズ絞りをF=2とし，画像を④モニターを介して，⑥SONYデジタルビデオカメラ（DCR-PC100）のMEMORY STICKに記録した．

(2) 分光分布用測定器

図3は，分光反射率測定に用いた分光測色計（MINOLTA：CM-508i）を示す．本装置は，受光部に分光センサを搭載し高精度測定が可能で，測定データを色彩管理ソフトウェア（CM-S 5）で分析，解析できる．

3. 供試材料

供試した青果物は市販されているバナナ（*Musa sapientum* L.），ピーマン（*Capsium annuum* L.）およびニンジン（*Daucus carota* L.）の3種類を用いた．また比較のために，赤（V2）・橙（V5）・黄（V8）・緑（V12）・青（V18）・藍（V19）・紫（V20）の新配色カード199c（日本色研事業株式会社），vividトーン7色を用いた．

4. 測定項目および方法

色の見え方は，光源の違い，方向の違いおよび背景の違い等，様々な条件によって左右される．これらの条件は，分光画像を取得する際に大きく影響を与える．そこで，方向および背景といった条件を一定に設置し，ハロゲンランプ光源下で各被写体の測定をした．

(1) 分光画像および分光分布の測定

市販のバナナ，ピーマンおよびニンジンの表面色の分光画像を，450 nm，500 nm，550 nm，600 nm，650 nmの5波長にて取得した．同波長にて新配色カード7色の分光画像も取得し比較検討し

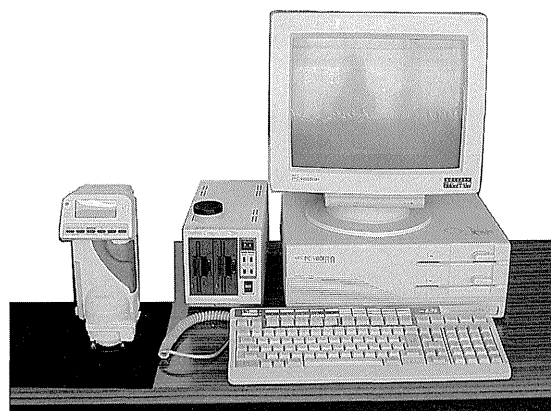


Fig. 3. Spectrophotometer (MINOLTA Co.)

た。次に、被写体から反射される光、すなわちカメラへ入射される光の相対分布の算出を行い、5波長で取得した分光画像の濃淡差を考察した。

なお、分光分布は、ハロゲンランプ光源の比エネルギー分布の最も大きな波長の値を1として、分光測色計(MINOLTA:CM-508i)で測定した各被写体の分光反射率に掛け合わせて算出した。

(2) ニンジン表面に観察される損傷部位の特徴抽出

市販されているニンジンの表面に、損傷部位が観察されるものを購入し、損傷の特徴抽出を行うために、500~640 nm (± 5 nm) の波長域を20 nm間隔で8波長の分光画像を取得し、損傷部位抽出の可能性について検討した。また、ニンジン表面と同色の損傷部位の特徴抽出を行うため、ニンジン表面にカッターで任意的に傷をつけ、上記と同じ8波長の分光画像を取得し、その傷の抽出の可能性を検討した。

解析には、(Adobe) Photoshop 6.0を用いて、取得した原画像を色調補正機能のコントラスト強調を行った後、閾値を128へ設定し、2値化画像に変換し、特徴抽出を行った。

結果および考察

1. 青果物表面色の分光画像と輝度(濃淡度)について

(1) ピーマンの場合

図4は、ピーマンの原画像および5波長における分光画像を示す。ピーマンは、550 nmで撮影した場合に最も白く映し出され、この時の輝度値は74.8であった。その他の波長での輝度値は450 nmで18.71、500 nmで29.04、600 nmで59.8、650 nmで51.8であった。

ピーマン表面色の緑と同色の配色カード緑(図7参照)と比較すると550 nmで撮影した分光画像が最も白く写しだされ、他の波長においてもピーマン表面色の濃淡差と同様の結果が得られた。

(2) バナナの場合

図5は、バナナの原画像および5波長における分光画像を示す。バナナは、600 nmで撮影した場合に最も白く映し出され、この時の輝度値は152.9であった。その他の波長での輝度値は450 nmで19.65、500 nmで29.02、550 nmで122.6、650 nmで116.2であった。

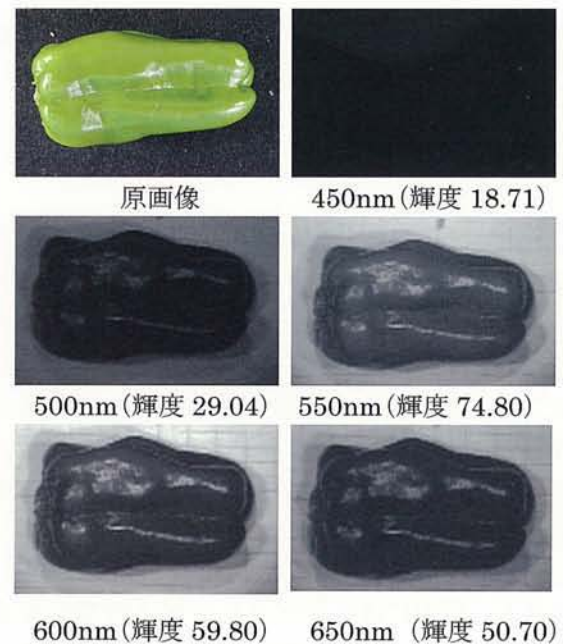


Fig. 4. Spectral Image on Green pepper.

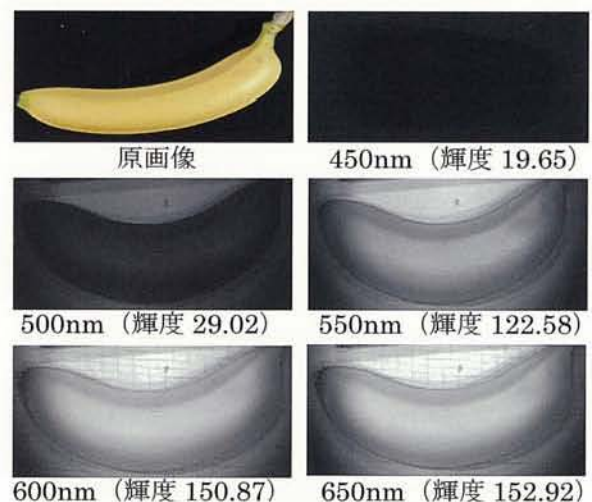


Fig. 5. Spectral Image on banana.

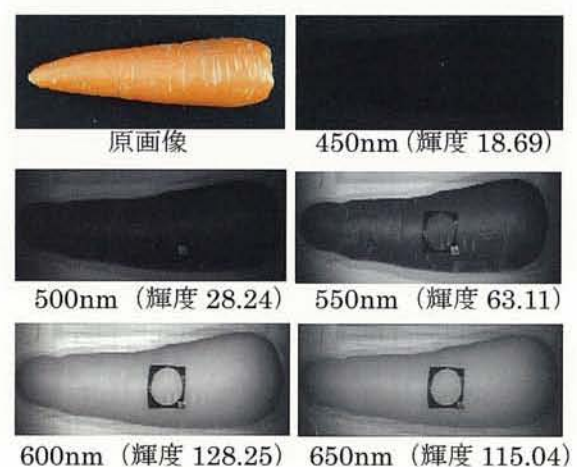


Fig. 6. Spectral Image on carrot.

	450	500	550	600	650
紫					
藍					
青					
緑					
黄					
橙					
赤					

Fig. 7. Spectral Image on standard color Card.

バナナ表面色の黄色と同色の配色カード黄色（図7参照）と比較すると600 nmで撮影した分光画像が最も白く写しだされ、他の波長においてもバナナ表面色の濃淡差と同様の結果が得られた。

(3) ニンジンの場合

図6は、ニンジン原画像および5波長における分光画像を示す。ニンジンは、600 nmで撮影した場合に最も白く映し出され、この時の輝度値は128.25であった。その他の波長での輝度値は450 nmで18.69、500 nmで28.24、550 nmで63.11、650 nmで115.04であった。

ニンジン表面色の橙と同色の配色カード橙（図7参照）と比較すると600 nmで撮影した分光画像が最も白く写しだされ、他の波長域においてもニンジン表面色の濃淡差と同様の結果が得られた。

2. 分光画像と分光分布との関係について

(1) ピーマンの場合

図8は、ピーマンから反射される光の相対分布

を示す。ピーマン表面色の分光分布は、500 nm付近の波長域から立ち上がりを示し550 nmをピークに長波長になるに従って徐々に減少する山成り波形を示した。緑カードの場合も多少の反射強度の差はあるが同様の波形を示した。反射強度と輝度値の関係を撮影に用いた5波長において比較してみると、450 nmで反射強度1.12、輝度値18.71、500 nmで反射強度2.17、輝度値29.04、550 nmで反射強度9.40、輝度値74.8、600 nmで反射強度6.59、輝度値59.8、650 nmで反射強度4.95、輝度値50.7と、反射強度の大きな波長で撮影した場合の濃淡画像は白く映し出され、逆に反射強度の低い場合には黒く映し出される事が判った。この事から、ピーマン表面色である緑系波長域（500～600 nm）では反射強度が強く映し出される濃淡画像は白く、短波長の青系波長域（400～500 nm）や長波長の赤系波長域（600～700 nm）では光りを吸収し反射強度が低くなり、映し出される濃淡画像は黒くなる事が判った。

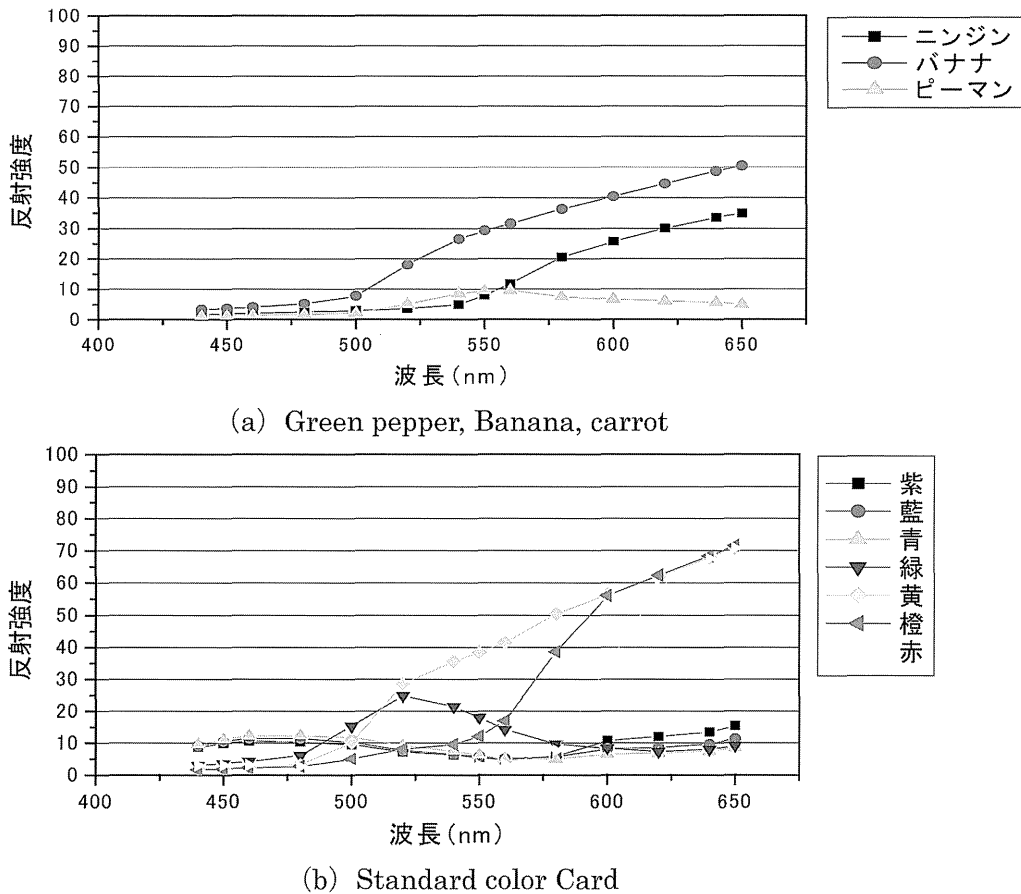


Fig. 8. Spectral Distribution of reflected Halogen Lamp.

(2) バナナの場合

図8は、バナナから反射される光の相対分布を示す。バナナ表面色の分光分布は、500 nm付近の波長域から特徴を示す右上がりの波形である。黄色カードの場合も多少の反射強度の差はあるが同様の波形を示した。これより、反射強度と輝度値の関係を撮影に用いた5波長において比較してみると、450 nmで反射強度3.26、輝度値19.65、500 nmで反射強度7.70、輝度値29.02、550 nmで反射強度29.31、輝度値122.58、600 nmで反射強度40.31、輝度値150.87、650 nmで反射強度50.40、輝度値152.92と反射強度の大きな波長で撮影した場合の濃淡画像は白く映し出され、逆に反射強度の低い場合には黒く映し出される事が判った。バナナ表面色は黄色であることから黄系波長域(600 nm前後)において最も白く映し出されると考えられる。しかし、赤系波長域(600~700 nm)で撮影した分光画像の方が白く映し出される結果と

成った。これは、図8から分かるように黄色は、緑系波長域(500~600 nm)、黄系波長域(600 nm前後)および赤系波長域(600~700 nm)で反射し、他の波長域を吸収していることを意味する。すなわち、黄色は、人間の目では感じられない緑系および赤系の色の要素を多く含んでいる事が分かる。本実験で用いたバナナの場合、赤系の成分を多く含んだものであるため、650 nmで撮影した画像の方が白く映し出される結果となった。

(3) ニンジンの場合

図8は、ニンジンから反射される光の相対分布を示す。ニンジン表面色の分光分布は、550 nm付近の波長域から特徴を示す右上がりの波形である。橙カードの場合も多少の反射強度の差はあるが同様の波形を示した。これより、反射強度と輝度値の関係を撮影に用いた5波長において比較してみると、450 nmで反射強度1.83、輝度値18.69、500 nmで反射強度2.99、輝度値28.24、550 nmで

反射強度7.86, 輝度値63.11, 600 nmで反射強度25.64, 輝度値128.25, 650 nmで反射強度34.77, 輝度値115.04となった. 600 nmと650 nmの反射強度と輝度値の関係が反転している事がわかる. これは, ニンジン表面色の橙系波長域が, より多くの黄色成分を含んでいること, または, 今回用いたハロゲンランプ光源色の影響を受けたものと思われる.

以上の事から, 各波長内にある青果物の表面色は反射強度が高く, フィルターへの入射光が多くなり映し出される画像は白い事が判った. また, 各青果物表面色から反射される光の分光分布の波形に類似した濃淡差を得る事ができた.

3. ニンジン表面に観察される損傷部位の特徴抽出

500~640 nm (± 5 nm) の波長域におけるニンジン表面で観察される損傷部位のRGB画像を

20 nm間隔 (8 波長) で撮影した分光画像および2値化画像を図9に示す. 傷①は, 直径2 mm程度で黒く凹型の形状である. 各分光画像を比較してみると580 nm以上の長波長域にて撮影した原画像において傷があると判断できる. また, 2値化画像からも同波長の画像において傷の部分が適切に抽出された.

次に, 傷②は, 長さ10 mm幅3 mm程度で黄色く引っかき傷のようなものである. 500~640 nm全ての原画像で傷があると判断されるものの, 500 nm, 520 nm, 540 nmの短波長の方がニンジン表面と傷との濃淡差があることから傷と判断しやすい. そこで, 2値化画像を比較してみると500 nm, 520 nm, 540 nmの短波長において傷の部分が適切に抽出される事が判った.

さらに, 傷③は, ニンジン表面と同色の損傷部位の特徴抽出を試みるために, 任意的に長さ10

	傷①		傷②		傷③	
	原画像	2値化	原画像	2値化	原画像	2値化
RGB 画像						
500nm						
520nm						
540nm						
560nm						
580nm						
600nm						
620nm						
640nm						

Fig. 9. Spectral Image on damage carrot.

mm程度の切り傷を付けたものである。各波長の原画像を比較してみると520nm, 540 nmの画像において傷であると判断できる。これは、傷の部分から反射される光の強度とニンジン表面から反射される光の強度の差を520 nm, 540 nmの波長においてうまくとらえることができ、濃淡に差が現れたものと思われる。しかし、2値化画像では傷①と②に比べて損傷部位の特徴抽出が適切に行われず540 nmの画像から傷である部位が微かに判断できる程度であった。これは、適切な閾値の選定、ノイズ除去、テクスチャ解析等の画像処理によって解決できると思われる。

以上、各画像から分かるように、ニンジン表面色と損傷部位の色の違い、また、反射強度の差などから、色・傷の特徴ある波長の選定を行うことで、目的とする特徴検出が可能になるとと思われる。

要 約

消費者が食に対して求めているものは「安心・安全性・機能性」といった質的部類である。本研究では可視光領域での農産物の色（機能性との関連）の特徴抽出、また病虫害損傷部位の検査等を、分光画像を用いて行うことを目的とする。今回は、これらの特徴抽出に用いる液晶フィルター（米国製CRI, 400~720 nm）の基礎資料を得ることを試みた。

供試サンプルには、青果物としてピーマン、バナナおよびニンジン、また比較のために新配色カード7色を用いて、ハロゲンランプ光源下で各被写体から反射しカメラへ入射される光の分光分布を算出した後、450~650 nm（±5 nm）内の5波長で分光画像を取得した。その結果、各波長において撮影した分光画像と青果物から反射される光の分光分布との関係から、各波長域内にある物体の色は被写体から反射される強度が高いため、フィルターへの入射光が多くなり白く写しだされる事が判った。また、被写体から反射される光の分光分布の波形に類似した濃淡画像を得る事ができた。

ニンジンの表面における3種類の損傷部位の特徴抽出を500~640 nm（±5 nm）内の8波長の分光画像処理によって行った。その結果、色・傷の特徴ある波長の分光画像から損傷部位の特徴抽出が可能であることが判った。

以上の結果より、特徴ある波長域の選定を行う

ことによって、目的とする農産物の品質評価・検査が可能になるものと思われる。

キーワード：液晶フィルター、分光画像、品質検査、青果物

謝 辞

本研究は、平成15年度文部科学省科学研究費基盤研究(B)(2)の課題(番号15380175)の一部として実施したものである。ここに、関係各位に感謝申し上げる。本研究を遂行するにあたり、本研究室専攻学生諸氏の協力を得た。ここに深く感謝の意を表する。

参考文献

- Evans, M. D., Thai, C. N., and Grant, J. C. (1998) Development of a Spectral Imaging System Based on a Liquid Crystal Tunable Filter. *Transactions of the ASAE*. **41**, 1845-1852.
- 本間秀明(1989) 流通システム研究センター 105-109.
- 加藤宏郎(1995) 95年版農産物流通技術年報 69-75.
- Laykim, S., Alchanatis, V., Fallik, E., Edan, Y (2002) : *Transactions of the ASAE*. **45**, 851-858.
- 永田雅輝(2002a) 農産物の品質判定・評価について. 農業機械学会支部誌 **51**, 59-64.
- 永田雅輝(2002b) 農産物の品質評価に関する研究. 平成13年度学部長裁量経費(研究支援経費)研究成果報告書 1-8.
- 杉山純一(2001) 2001年版農産物流通技術年報 79-83.