

画像処理システムによる青果物の傷検出に関する研究 (I)  
—— モモ損傷の検出 ——

岩尾 俊男\* · 李 曉明\*\* · 藤浦 建史\*  
渋谷 栄\* · 竹山 光一\* · 毛利建太郎\*\*\*  
遠藤 準二\*\*\*

---

Study on Damage Fruit Inspection  
by Machine Vision  
— Detection of Peach Defects —  
Toshio IWAO, Xiao Ming LI, Tateshi FUJIURA,  
Sakae SHIBUSAWA, Koichi TAKEYAMA  
Kentaro MOHRI and Junji ENDO

---

**Abstract** The object of this study is for developing a defective fruit inspection system by machine vision.

Spectral reflectances of the normal peach surface and defects were measured in the wavelength between 390nm and 2000nm.

The report deals with a trial of developing an image analysis algorithms based on NTSC r, g, b chromaticity in color image and the gray level of infrared image to indentify defects.

The image data was filtered to removed interfrance due to pixel to pixel variation in the camera and back ground noise, and then, the defect parts were separated from the rest by a threshold.

As the result, it was admitted that the defects such as compression, cut, insect pest, bruise and etc. could be separated from normal peach surface by chromatic cluster of the color image or gray level of the infrared image.

## I. はじめに

一般に、収穫された青果物はトレイに収納され、選果場に持ち込まれる。選果場では、青果物の品種、種類ごとに示された基準に従って階級、等級選別が行われる。この過程で人手による選別では、選別項目の多いことから多くの人手を要し、人の目による判定は選別規準の客観性に欠ける。そのうえ時間の経過と共に、人の疲労が重なり選別精度の低下を起すことが指摘されている。これらの点を解決するために画像処理による自動化が望まれている。

近年、画像処理技術の発達はめざましく、農機メーカーなどでも画像処理による選別自動化の研究が盛んである。その中で、キュウリの形状選別、ミカンの階級選別、リンゴの色合い選別、ナシとモモの糖度選別などへの画

像処理技術の利用は、現在一部の選果場においては実用化もされている。

この研究は、画像処理による青果物の損傷果検出の作業を自動化する目的で、モモを対象としてその分光反射特性を可視領域と近赤外領域にわたって調べ、損傷果検出に適する光学フィルタを選定し、カラーカメラと赤外カメラを用いた画像処理システムを構築し、モモ表面の正常部と損傷部とのカラー画像色度と近赤外画像濃度値に基づいて、モモの傷検出の可能性を検討した。

## II. 実験方法

### 1. 画像処理システム

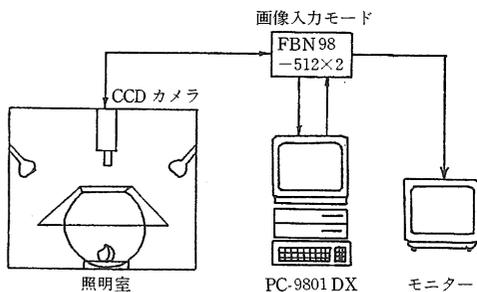
第1図は製作した画像処理システムの概略構成を示す。このシステムはPC-9801DX、モニター、画像入力ボード、TVカメラ、照明室などにより構成される。

果実表面の傷画像情報を得るため、カラーカメラと近赤外領域に感度があるモノクロカメラを設置した。カラーカメラは約26万ピクセルを有するCCDタイプの色再

\* 農林システム学講座

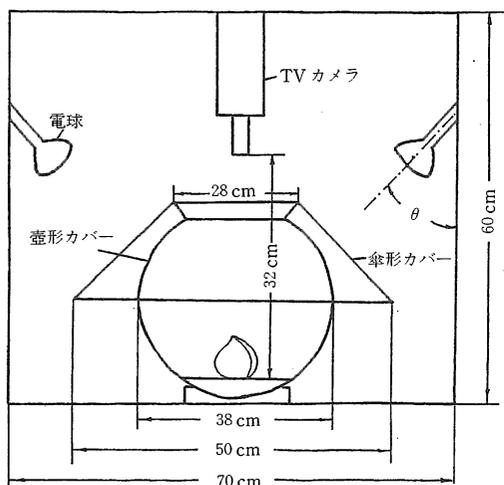
\*\* 鳥取大学大学院連合農学研究科生産環境工学講座

\*\*\* 岡山大学農学部



第 1 図 画像処理システムのブロック図

現性に優れているビクター TK-870 である。モノクロカメラは TM1740 を使った。このカメラは産業用に設計された CCD タイプの TV カメラで、約 40 万ピクセルの CCD を用いるため高解像度で、画像変形、焼き付き、残像が少ない特長を有する。画像入力ボードは、メイコー・マルチアート株式会社製の FBN 98-512×2 であり、これは、TV カメラからの映像信号をコンピュータで操作できるように数値化し、メモリに保存させるものである。この性能及び仕様は、RGB 各 256 階調 (約 1670 万色)、512×484 ピクセルの画像メモリは二つのフレームを備えている。画像の取り込み速度は 1/30 秒である。また、画像システム本体は PC-9801 DX パソコンであり、クロック周波数 12 MHz 相当のモードを持つ 16 ビットの CPU 80286 を内蔵し、640 k バイトのメモリを装備している。青果物の表面は近赤外カメラ (カラーカメラ) で 256 階



第 2 図 照明室の構造

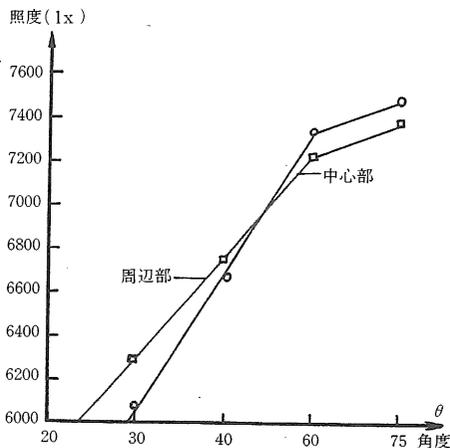
調の濃淡画像 (RGB カラー画像) として画像のメモリに取り込み、パソコンで画像メモリに保存されたディジ

タル画像の種々の処理及び計測を行い、その結果を CRT に表示した。

## 2. 照明室の構造

画像処理の影の修正、傷検出の精度を上げるために、果実の照明を均一にしなければならない。第 2 図は試作の照明室の構造とサイズである。モモの画像を上から撮影できるように照明室は、外枠をベニヤ板で作り、四隅に 150 W、色温度 3070 K の東芝フラッド写真用の散光型ランプを設置した。また、果実は均一な照度となるように、照明室の内部壁全体をペンキで白く塗り、果実の周囲を壺形の直径 38 cm の白色ガラス製カバーと、傘形の白色プラスチック製の電球カバーを用いて二重に囲んだ。果実の下の画像背景は、サンドペーパーで表面を擦って光の鏡面反射を少なくした黒いゴムである。この結果、果実に拡散光のみが照射し、ほぼ色むらのない画像を得ることができた。

照明室四隅に付けた電球の角度は、果実の下に置いた黒いゴムの中心と、周辺の照度を照度計で調べることにより最適の状態を決定した。第 3 図は照明室における電球の角度と、背景となるゴムの中心部と周辺部の照度の関係を示す。この場合、電球の調節角度  $46^\circ \sim 60^\circ$  の間において照度のむらが小さかった。



第 3 図 照明室内の照度と光源上下調節角度との関係

## 3. 光源の選択

物体の色を測定するためには、光源の質、強度、方向を規定する必要がある。一般に物体色を測定するための標準光源は、JIS Z 8720 (測色用標準の光及び標準光源) で、A、C 及び D 65 の三種類の白色光が規定されている。カラー画像入力の場合には、色の鮮やかさと、色の再現性が重要な要素となる。また、鮮明なカラー画像を入力するためには、十分な照度の照明が必要である。カ

ラー画像の再現性を改善するためには、光源の色温度の選択が重要となる。本研究では、カラー画像と近赤外画像両方を用いて傷を検出するため、光源は可視光と近赤外光領域に放射率がよい150 W、色温度3070 Kの東芝フラッド写真用ランプを用いた。モモのカラー画像に赤に近いが、モモ表面色の測定には大きな影響が認められなかった。

#### 4. 色の数量化

色彩を数値化する方法は表色系と言い、物体の表面色の測定表示に用いられる顕色系と光の混合に用いられる混色系の2種類がある。その代表的なものにCIE（国際照明委員会）の規定するRGB表色系とXYZ表色系がある。また、明度、彩度、色相を規準にする表色系もJIS規準として一般的に使われている。本研究ではテレビジョンの色方式に沿って、デジタル化してRGBの画像化されたカラー画像処理に限定した。

カラーカメラの知覚した色彩情報は明度、色相及び彩度を直接的に測定するのではなく、観察表面におけるRGB 3原色成分の強度信号である。しかし、一般にカラー画像は、照明むらの影響で、同質の対象物であっても同じRGBの値を持つとは限らない。それはカラー画像の明度が変動しているためであり、色合い成分は一定であると考えられる。そこで、カラー画像を一定明度Iに正規化を行うには、RGBから次の変換によってrgbが得られる。

$$r=R/(R+G+B) \quad (1)$$

$$g=G/(R+G+B) \quad (2)$$

$$b=B/(R+G+B) \quad (3)$$

$$I=(R+G+B)/3 \quad (4)$$

そして

$$r+g+b=1 \quad (5)$$

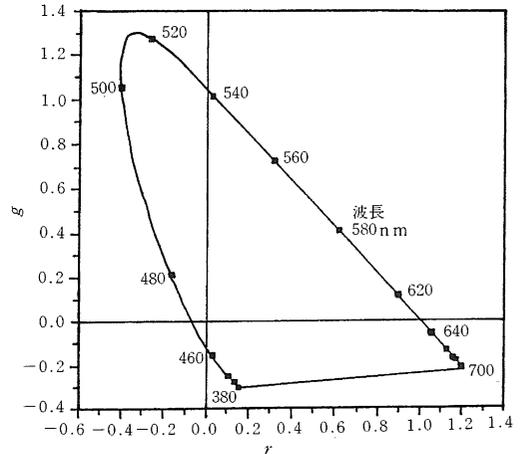
となり、独立なものは2つである。これをr, g座標系に表示すると第4図の色度図となる。すべての色はこの三角形の中に入る。この変換によって色合い成分だけの画像が得られる。

#### 5. 実験方法

実際、モモの傷の検出とはモモの画像から傷の特徴を持つ画像部分を認識することである。傷の検出は、抽出した傷画像に含まれる種々の特徴（色彩、形状、画素の濃度値、濃度変化率など）を計測して、これらのデータと予め作った標準傷データベースにあるクラスと同じクラスに割り当てることにより行った。

#### 6. 実験材料

モモ損傷は、栽培条件、気象条件、収穫、搬送及び取り扱う条件などにより異なるものである。今回はモモの



第4図 NTSC r, g色度図

損傷の生ずる条件を想定して、主に正常果に傷を人為的に加えた。想定される傷は圧縮、落下、衝撃、虫害、切り、刺し、腐り傷などであるが、本研究は圧縮、腐り、虫害、切りの四種類の損傷を調べた。

供試材料は1991年産の白桃、白風、赤秀である。

### III. 実験結果

#### 1. カラー画像処理の場合

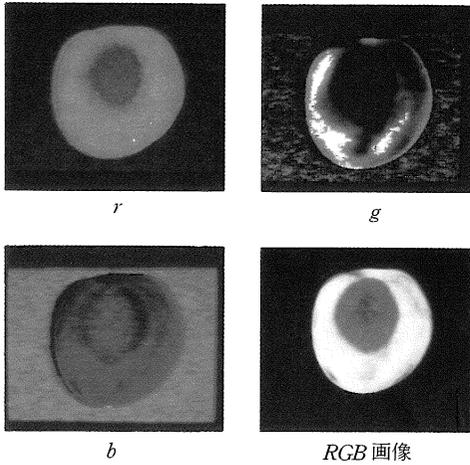
人の目による果実表面の傷検出は、主に果実表面色の变化により、傷の有無を判定することが多い。今回は色度r, gをもとにしてモモ表面色情報を測定し、モモ表面の傷抽出を行った。

##### (1) モモ表面の色度分布

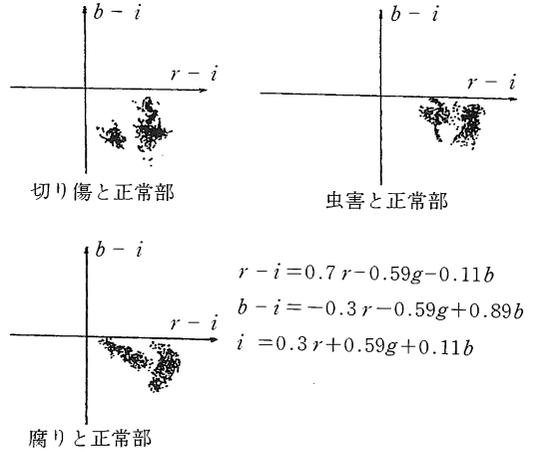
第5図は、式1, 2, 3により、カラーカメラから撮られたモモのRGB画像から変換したr, g, b, RGB画像を示す。

色度bの濃度画像では、傷と背景とを認識する明確な輝度差が認められず、この情報から傷画像を抽出することは困難である。また、各ヒストグラムにおいても両者を識別する特定の情報は見当たらないが、色度r, gの濃淡画像では傷と正常面との間の濃度差が大きく、特に色度gにおいて顕著であることが認められた。そこでまず、色度gについてマニュアル操作によりモモ傷と正常な表面を分離して傷を抽出し、それをマスクパターンとして色度r, g, b及び明度Iに関する傷とモモの色度分布を調べた。

傷画像を抽出する手順は第6図に示す。第7図は正常部と損傷部の色度データである。この色度図における正常部と損傷部の分布特性はかなり異なったものであることが認められる。



第5図 腐り傷の色度  $r, g, b$  画像



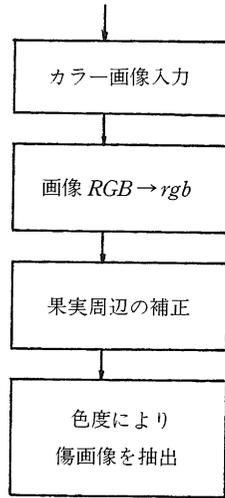
第7図 色度  $r, g, b$  画像において傷と正常部の色差分布

(2) 傷の検出

以上の結果から損傷部の特徴は色度3成分の組合せにより検出できることが明らかになった。従って、これを基にして損傷部の抽出を行った。その方法は、損傷部における色度成分の分布から(平均値±標準偏差)をしきり値の上下限値としたもので、第8図はその結果である。

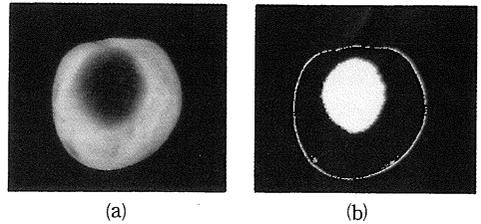
2. 近赤外画像処理の場合

画像処理によりモモの傷を検出するためには、モモの正常部と損傷部との分光反射率上の差のあることが必要条件である。通常、その分光反射率の差は、ある特定の波長領域帯において大きくなる場合がある。従って、その波長領域のフィルタによりモモの正常部と損傷部の画像の画素濃度のコントラストを高めることにより、損傷検出は容易になるものと考えられる。



第6図 カラー画像処理手順

モモの損傷検出に効果的なフィルタを選定するために400~2000nmにわたって、モモ表面からの反射スペクトルを20nmの間隔で測定した結果を第9図と第10図に示す。第9図の正常部と圧縮した損傷部の分光反射特性には、可視領域では反射率の差が現れないが、近赤外領域では差が存在する。つまり、近赤外画像を使えば、目



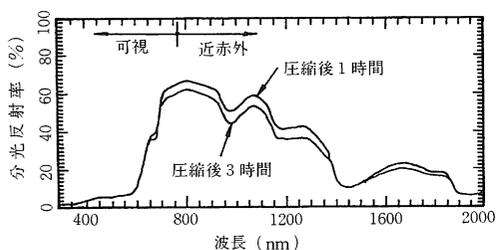
第8図 (a) 腐り傷カラー画像 (b) 傷抽出した二値化画像

に見えない傷も検出できると予想される。また、第10図では正常果の赤色部と黄色部との分光反射特性上の違いは、可視領域において生ずるが、近赤外領域においては、色の影響がなくなりほぼ近似した値になっている。損傷部と正常部における分光反射率の差は、可視領域において表面色の影響が生ずるが、近赤外領域では表面色の影響の少ないことが分かる。特に、800nmから900nmまでの間における損傷部と正常部との分光反射率の差は大きくなっている。

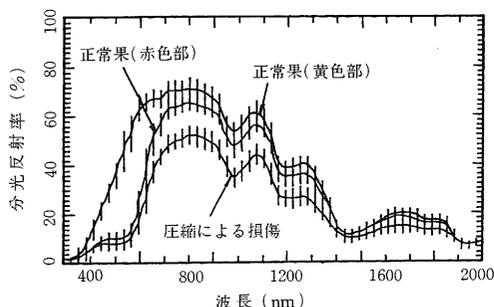
これらの結果を参考に今回は、中心波長848.58nm、最大透過率36.3%、半値幅15.4nmの金属干渉フィルタを用い、近赤外領域に感度を有するモノクロカメラ(TM1740)に装着して近赤外カメラを用いて測定を行った。

(1) 傷検出処理の検討

第11図は、モモ表面の画素濃度値に基づいて、傷の特徴情報を抽出するための処理フローチャートである。近赤外カメラから入力されたモモ画像がフレームに取り込まれ、そのうちの256×242バイトの画像に対して空間的なフィルタにより背景のノイズを除去し、パラボラ特性

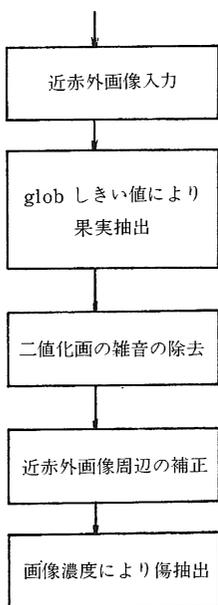


第9図 圧縮損傷の分光反射特性



第10図 正常果と圧縮損傷果との分光反射特性及び標準偏差

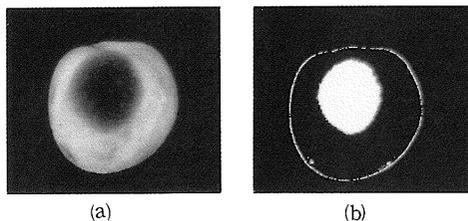
による果実画像の輪郭の補正処理を行った。その後、画像の濃度値に基づいて判別しきい値法により傷の画像濃度の範囲に入り込んだ画素の集まり(傷、枝部、縫合部



第11図 近赤外画像処理手順

など)を二値化し、更に二値化画像をラベリングした。次に、このラベリングした二値化画像を用いて画像ごとの果実表面の平均濃度値、正常部の濃度値、損傷部の濃度値及び傷画像の特徴(面積、周囲長さ、画像濃度の勾配など)を検討した。傷の識別及び分類については、次報に報告の予定である。

第12図は腐り損傷果の損傷部の画像領域の抽出を行った結果である。近赤外画像において腐り損傷部は明瞭に現れている。



第12図 (a) 腐り傷の近赤外画像  
(b) 傷を抽出した二値化画像

表1 損傷近赤外画像濃度値

| 供試材料  | 近赤外画像 |     |     |
|-------|-------|-----|-----|
|       | 平均    | 最大  | 最小  |
| 腐り 1  | 176   | 198 | 158 |
| 正常部 1 | 199   | 206 | 191 |
| 腐り 2  | 132   | 155 | 115 |
| 正常部 2 | 201   | 214 | 184 |
| 腐り 3  | 151   | 172 | 122 |
| 正常部 3 | 194   | 215 | 189 |
| 腐り 4  | 117   | 157 | 97  |
| 正常部 4 | 204   | 213 | 191 |
| 切り 5  | 187   | 196 | 180 |
| 正常部 5 | 204   | 213 | 191 |
| 切り 6  | 199   | 206 | 194 |
| 正常部 6 | 211   | 218 | 198 |
| 切り 7  | 197   | 203 | 193 |
| 正常部 7 | 213   | 221 | 200 |
| 虫害 8  | 170   | 186 | 136 |
| 正常部 8 | 205   | 213 | 191 |
| 虫害 9  | 167   | 182 | 112 |
| 正常部 9 | 208   | 217 | 194 |

第1表は15個のモモの損傷果について表面の画像濃度を調べたものである。正常表面の平均濃度は200前後で、損傷部の平均濃度は正常部よりかなり低く、10階調以上の差がある。損傷モモの画像のヒストグラムによって画像の濃度は多峰性を示すため、傷の画像の分割には再帰

判別しきい値法による二値化処理が有効であることが明らかとなった。

#### IV. お わ り に

モモ表面のカラー画像の色度と近赤外画像の濃度に基づいて、モモの損傷果を検出する可能性を検討した。実験結果から次のことが明らかになった。

1. カラー画像では、切傷、腐り傷などの人の目に見える傷の検出は可能であった。しかし、モモ表面の色の影響を受けるため、圧縮、衝撃あるいは表面色により隠された腐り傷などの目で見にくい傷の検出は困難であることが明らかとなった。

2. 近赤外画像(中心波長850nm付近)では、供試した損傷果のほとんどすべての検出ができた。特に、カラー画像処理で検出できない傷も検出できた。

今回の実験には、カラー画像、近赤外画像とも、果柄部と果頂部のくぼみ、及び縫合線の部分がミス検出されたが、傷とミス検出部の認識、損傷部の分類などはプログラムの開発により改良が可能である。

#### 参 考 文 献

- 1) OSBORNE, B. G. : Near infrared spectroscopy in food analysis: Longman Scientific and Technical New York p.117-161, 1986.
- 2) BALLARD, D, H, and CHRISTOPHER, M. B. : Computer vision: Prentice-Hall NJ p.63-165, 1982.
- 3) MILE, B. K. and MICHAIL, J. D. : Peach defect detection with machine vision ASAE paper NO. 89-6019 : p. 1-11, 1989