

## 非破壊による青果物の選別に関する研究 (II)

— ナシ, リンゴ損傷果の分光反射特性 —

岩尾 俊男\*・李 晓明\*\*・渋沢 栄\*・藤浦 建史\*  
竹山 光一\*・毛利建太郎\*\*\*

### Studies on Nondestructive Quality Sorting of Agricultural Products (II)

— Spectral Reflectance for Pear and Apple Defects —

Toshio IWAO, Xiao Ming LI, Sakae SHIBUSAWA,  
Takeshi FUJIURA, Koichi TAKEYAMA and Kentaro MOHRI

In order to develop the machine vision sorting and grading system for the fruits, the optical properties of the FUJI apple and the NIJISSEIKI pear were measured by a spectrophotometer ( Model UV-3100 by SHIMAZU co. ).

The spectral reflectances of the normal surface and the defectives ( scar, bruise, cut, compression, puncture, friction, and etc. ) were measured in the wave length between 290nm and 2500nm. And the standard deviation of the optical properties about the normal fruits and the defects were investigated.

The optical properties of normal fruits in visible wave length region (290—780nm ) were complicated because of the variation in color over the surface, but in near infrared region, they were about same values of spectral reflectance especially and the difference of the spectral reflectance between all the defects and normal fruits ( excepted the compress defects ) were over 10 % in the wave length between 500nm and 900nm.

Because the color variance of fruits surface did not affect in near infrared region, this study concludes that the detection of the defects with the machine vision system should be carried out in the near infrared region between 800nm and 900nm.

## I 緒 言

一般に、収穫された青果物は、トレイに収納され、選果場に持ちこまれる。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。この中で人手による選別において、選別項目の多いことから多くの人手を要し、その上時間の経過と共に、人の疲労が重なり選別の精度の低下を来すことは、今まで経験的に指摘されている。

ところで、青果物の損傷果検出の研究は、国内外ともに推進されつつある<sup>1-6)</sup>。

したがって、この研究は、画像処理を用いた青果物の損傷果の検出システムを開発するための基礎研究とし

て、モモの場合と同様に、青果物の表面の損傷果について、分光反射特性を調べることにある。想定される傷は、圧縮、落下衝撃、腐り、擦り傷、切り傷、刺し傷、剥皮傷及び裂果等であるが、材料として自然の状態得難い傷については、以上の損傷が加えられる条件を想定して人為的に傷をつけ、正常果と損傷部との分光反射特性について比較検討を行った。

## II 実験方法

分光反射の測定装置は、S社製UV3100分光光度計であり、測定波長範囲は290~2500nmである。

圧縮損傷：果実は搬送中に果実相互あるいは容器との接触圧、振動等により物理的損傷を受けるものと考えられる。一般に圧縮による損傷は、時間の経過とともに変色し、人目により見分けられる。しかし、初期の段階での判別は困難である。これらのことから、圧縮荷重は、

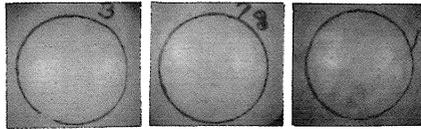
\*農林システム学講座  
\*\*鳥取連合大学院生  
\*\*\*岡山大学農学部

直径24mmの木製棒により0.5~5kgの荷重を加えた。

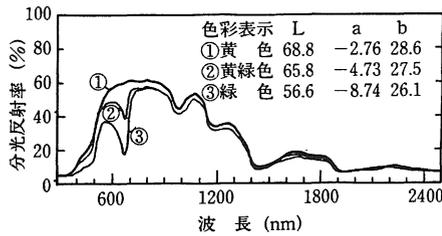
落下衝撃損傷：果実の落下衝撃は、収穫中あるいは、トレイに収納中に手を離れて落ちることを想定して、落下高さを20cmとし、50~250gの荷重を落下させ、果実と接触する時の衝撃板に直径30mmの亚克力板を用いた。

腐り損傷：腐り損傷果は、果樹園及び選果場において収集したもので、これらは主に収穫時に腐り損傷のあるものである。擦り損傷：金属ブラシ、シウロタワシ、サンドペーパー180#等により果実の表面を擦った場合である。この場合、果肉が露出しない程度の擦り傷である。

供試果実は、1990年産のナシ(二十世紀, 新興), リンゴ(サン富士, ジョナゴールド)である。



第1図 ナシ正常果



第2図 ナシの表面色と分光反射特性

### III 実験結果及び考察

#### 1. ナシの場合

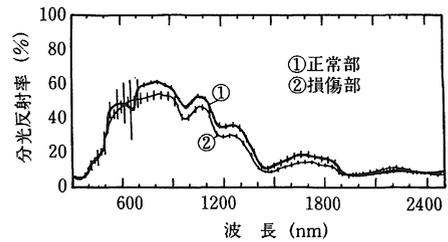
ナシの硬さは、主に細胞壁の厚さ、細胞同志の接着の強さ、石細胞の大きさとの密着に依存するもので、最近では石細胞の密度が疎になる方向に選択されているので、成熟に伴う果実の軟化は、細胞壁の量的、質的变化によるところが大きい。

ナシの果実には、果肉の硬化による石ナシ、果面に大小の凹凸を生ずるユズ肌の生理障害がある。

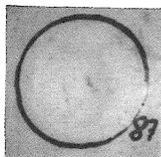
#### (1) 正常果の分光反射特性

第1図は、黄色、黄緑色、緑色の写真である。第2図は、ナシ(二十世紀)の表面色別の分光反射特性である。

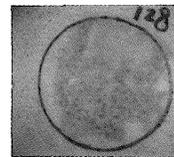
ナシの場合は、可視光領域において、分光反射率は黄色、黄緑色、緑色の順に低い値となる。一方、750nm以上ではその差は次第に小さくなり、1400nm以上ではなくなる。従って、損傷果の検出には、表面色の影響の少ない、波長750nm以上すなわち、近赤外領域での利用が適当と考えられる。



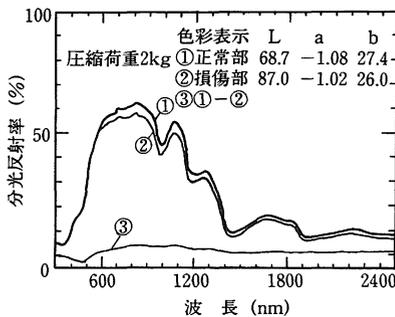
第5図 ナシの圧縮損傷部と分光反射率と標準偏差



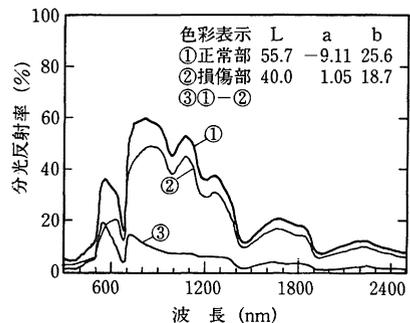
第3図 圧縮損傷部



第6図 擦り損傷部



第4図 ナシの圧縮損傷部の分光反射特性



第7図 ナシの擦り損傷部の分光反射特性

(2) 損害果の分光反射特性

① 圧縮損傷

第3図は、ナシの熟果についての圧縮荷重2 kgの圧縮直後における損傷果である。

第4図は、同一果実の正常部と損傷部との分光反射特性の比較である。分光反射率は、損傷より正常部の方が高い値となる。その差は、波長500nm以上において表われ、最大は5%未満である。

圧縮損傷の場合には、可視領域において圧縮による果実表面色の変化は色彩表示において、正常部と損傷部にはその差は認められないが、近赤外領域においてその差が認められた。

第5図は、正常部と圧縮部の分光反射率の標準偏差を示す。正常部と圧縮損傷部の標準偏差により示される分光反射率の差は、700~900nmにおいて明確に表わされるが、700nm以下では、ナシの表面色による影響が大きく左右したことに原因することにもよるが、その標準偏差が重なりその差は認められなかった。

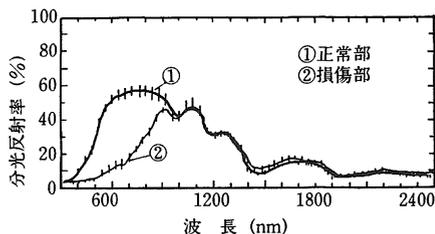
一般に、ナシの場合の圧縮損傷による分光反射率上の差は、他の傷の場合ほど明らかでない。しかし、標準偏差上の差が明らかなことから、分光反射率による圧縮損傷の検出は可能であろう。

② 擦り損傷

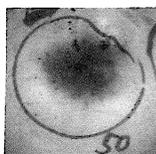
第6図は、サンドペーパー180#による擦り損傷の写真である。擦りにより果実表面色のLの値が、正常値55.7から、損傷部40.0となる。

第7図は、同一果実の正常部と損傷部の分光反射特性を示す。

正常部と損傷部との分光反射率の差は、可視領域において著しく、その差は最大20%に達する。また、近赤外



第8図 ナシの擦り損傷部の分光反射率と標準偏差



第9図 腐り損傷部

領域においては、波長の低い範囲で差は大であり、波長の増大と共に減少する傾向が見られた。

第8図は、正常部と損傷部の分光反射率の標準偏差を示す。

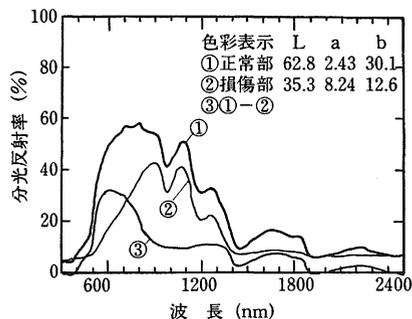
正常部と損傷部分光反射率間の標準偏差の差は、可視領域において明確な差があるが、900nm以上では、両者の標準偏差分布は、重なり合い同一個体の場合のような分光反射率上の差は生じない。

これらの結果から、選別の対象になる波長は、表面色の影響が少ない範囲である800~900nmと考えられる。

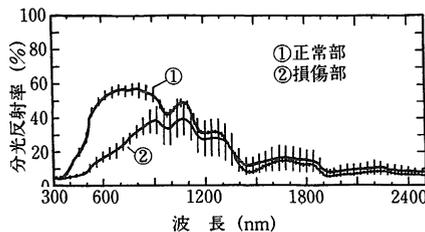
③ 腐り損傷

第9図は、ナシの腐り損傷の写真であり、正常部はL 62.8、損傷部は35.3となり、表面色は暗い色彩に近い値となる。

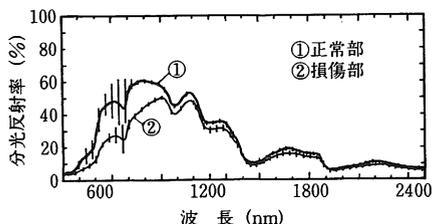
第10図は同一果実の腐り損傷部と正常部の分光反射特性である。正常部と損傷部の分光反射率差は、可視領域において最も大きく、その値は約32%となり、波長の増



第10図 ナシの腐り損傷部の分光反射特性



第11図 ナシの腐り損傷部の分光反射率と標準偏差



第12図 刺し損傷部の分光反射率と標準偏差

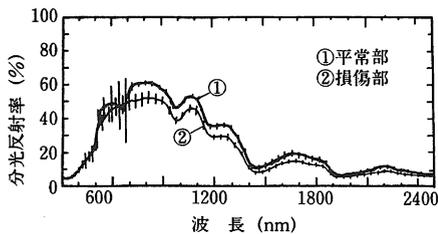
大と共に減少の傾向となる。また近赤外領域における最大値は約12%である。

第11図は、正常部と腐り損傷部の分光反射率の標準偏差である。両者における標準偏差上の差は、約400~900nmの波長域において生ずるが、約900nm以上では両者の標準偏差分布曲線は重なり合い、その差は明らかでない。

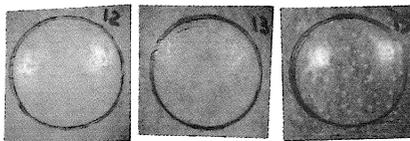
したがって、腐り損傷部の検出には、正常部と腐り損傷部の分光反射率の標準偏差に差がある、可視領域あるいは、800~900nm波長域を選定することが必要であろうと考えられる。

④ 刺し損傷

第12図は、剣山による刺し損傷部と正常部の分光反射率の標準偏差を示す。

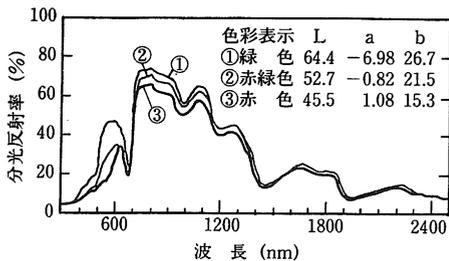


第13図 ナシの落下衝撃損傷部の分光反射率と標準偏差

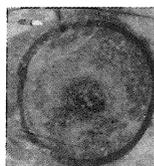


緑色 緑赤色 赤色

第14図 リンゴ(サン富士)の表面色



第15図 リンゴの表面色の分光反射特性



第16図 リンゴの腐り損傷部

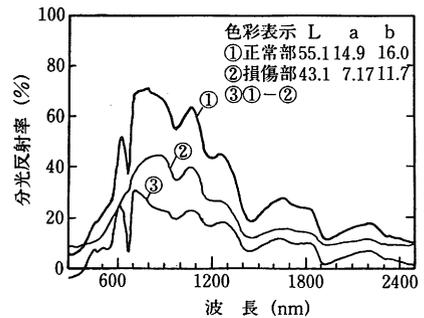
正常部と損傷部との分光反射率の標準偏差における差は、可視領域において、両者の一部の波長域の標準偏差の分布の重なりを除いて、明確な差が認められるが、一方、近赤外領域においては、波長の増大と共にその差は小さくなり、約1300nm以上ではその分布は重なり、差は存在しない。

したがって、この種の損傷については、約800~1300nmまでが、損傷果検出の対象波長となるものと考えられる。

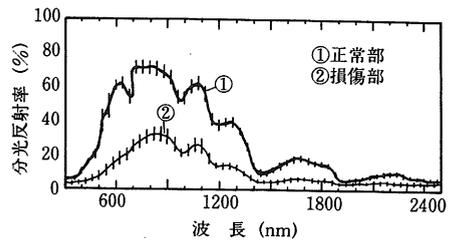
⑤ 落下衝撃損傷

第13図は、正常部と落下衝撃損傷部の分光反射特性とその標準偏差を示す。

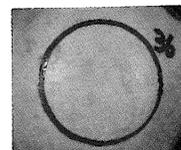
正常部と損傷部との分光反射率の標準偏差における差は、可視領域の波長約700nmまでは、両方の標準偏差の分布が完全に重なり合っているが、700~800nmの範囲では、その差は明らかである。一方、近赤外線領域では、1400nm、1900nm以上において重なりが存在する外は両者の差は存在するが、波長の増大と共にその差は小さくなる。



第17図 リンゴの腐り損傷部の分光反射特性



第18図 リンゴの腐り損傷部の分光反射率と標準偏差



第19図 落下衝撃損傷部

2. リンゴの場合

(1) 正常果の分光反射特性

第14図は、リンゴ（サン富士）の表面色（緑色、緑赤色、赤色）である。色彩表示のa、bの値が緑色から赤へと大きくなっている。

第15図は、上記3つの表面色のリンゴについての分光反射特性である。

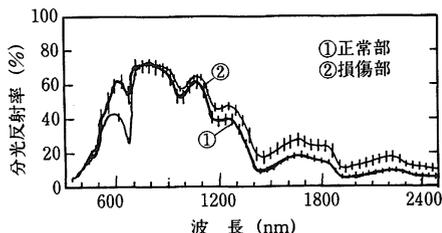
可視領域では、赤色果は緑色果及び赤緑色果より高い分光反射率である。また、波長700~1100nmの範囲では、分光反射率は赤色、赤緑色、緑色の順に低い値となるが、1100nm程度以上ではその差は存在しない。

(2) 損傷果の分光反射特性

① 腐り損傷

第16図は、ジョナゴールドの腐り損傷部である。腐り部は褐色に変化していて、色彩表示値L、a、bは正常部に比べ値は小さい。

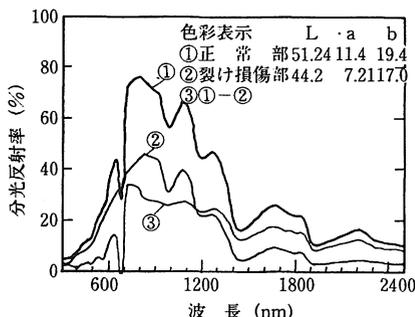
第17図は、正常部と腐り部の分光反射特性である。腐り損傷部は正常部に比べほぼ全波長域にわたって分光反射率は小さい。その差の最大値を示す波長は、可視領域



第20図 リンゴの落下衝撃損傷部の分光反射率と標準偏差



第21図 裂け損傷部



第22図 リンゴの裂け損傷部の分光反射特性

において32%程度となり、その後、波長の増加と共に減少の傾向となる。

第18図は、正常部と腐り部の分光反射率の標準偏差を示す。

正常部と腐り部の分光反射率曲線における標準偏差分布差は、近赤外領域において一部重なり合う外は、可視領域から近赤外領域にわたって生じている。

したがって、この種の損傷部について、画像処理による検出は容易であるだろう。

② 落下衝撃損傷

第19図は、リンゴ（サン富士）の落下衝撃損傷部の写真である。損傷部は色彩表示値において、正常部と損傷部は、それぞれ、L67.7, 63.1, a0.84, 0.20, b28.0, 25.7である。

第20図は、正常部と落下衝撃損傷部の分光反射率曲線における標準偏差を示す。正常部と損傷部の分光反射率曲線における標準偏差分布差は、可視領域の550~700nmの範囲で、近赤外領域では1100nm以上の範囲で明らかな差が認められる。

これらのことから、落下衝撃損傷の場合は、皮の細胞を損傷させることから、近赤外領域において、分光反射率における正常部との差が生じたものであろう。

③ 裂け損傷

第21図は、圃場より採取した裂け損傷果の写真である。裂け損傷部は、皮が裂け果実の中味が露出している状態であるので、表面色のaの値は正常部より小さい値となる。

第22図は、正常部と裂け損傷部との分光反射特性である。裂け損傷部の分光反射率は、可視領域の一部において、正常部より高い値を示す以外は、正常部より著しく小さい値となっている。両者の差は、可視領域の700nm近辺に生じ、その値は約35%を示す。近赤外領域においては、約800nm付近の約30%を最大値として、波長の増大と共に減少し、約1900nm以上ではその差は約5%程度になる。

したがって、画像処理の対象としては、近赤外領域の比較的低い波長領域がその対象として考えられる。

IV 結 言

この研究は、画像処理によるナシ、リンゴの損傷果の検出システムを開発するための基礎研究として、ナシ、リンゴの傷について、分光反射特性を調べたものである。供試果実の傷は、圧縮、落下衝撃、擦り、刺し、裂け及び腐りである。

実験結果の主なものは次の通りである。

1. 青果物における表面色の差による分光反射率の差は、可視領域において顕著に現われるが、近赤外領域においてはその差は小さくなる。
2. ナシ、リンゴ共に、圧縮損傷による分光反射率の差は、他の損傷に比較して小さい値である。
3. 画像処理を目的とするための分光反射特性は、分光反射率の標準偏差により表わす必要がある。
4. リンゴ、ナシの損傷果の検出を対象とする波長は、可視領域に近い近赤外領域の波長を用いることにより可能となるであろう。

以上のことから、リンゴ、ナシの損傷果の画像処理を行うための利用波長が明らかになった。

## 引用文献

- 1) 鈴木光雄, 中川靖夫: 農機研報(20): 49~62, 1986.
- 2) 河野澄夫: 科学と生物28(6): 380~386.
- 3) 野村良忠他2名: 食品産業センター技術報(9): 43-52, 1986.
- 4) 山根昭美他2名: 鳥取県食品加工研報(26): 23-29, 1980.
- 5) 山根昭美他2名: 鳥取県食品加工研報(27): 30-33, 1981.
- 6) 福田博之・久保田貞三: 果樹技報(15): 41-47, 1988.