

非破壊による青果物の選別に関する研究 (I)

—桃損傷果の分光反射特性—

岩尾 俊男*・藤浦 建史*・竹 山 光一*
伊藤 憲弘**・李 曉明***・毛利建太郎****

Studies on Nondestructive Quality Sorting of
Agricultural Products (I)

—Spectral Reflectance for Peach Defects—

Toshio IWAO, Takeshi FUJURA, Kouichi TAKEYAMA,
Norohiro ITO, Xiao Ming LI and Kentaro MOHRI

In the peach packinghouses, the postharvest handling and packaging of peaches has been extensively automated, with the exception of the sorting operation, which continues to be a manual effort. Consequently, automation of the peach defect sorting has potential for improving product quality, in addition to reducing packinghouse labor costs.

This paper dealt with the spectral reflectance characteristics of peach surface defects in order to the development of a machine vision sorting system for peach defects. And the types of peach defects were bruises, cuts, brown rots, compressed and impacted damages.

The detection of peach defects in the visible wavelength region (290~780 nm) was complicated by the variation in color over the surface of the peach. But blush and ground color curves had about same values of spectral reflectance in the near infrared region. And the spectral reflectance drew the clear distinction between normal and damage of peach surface.

Since near infrared region was not affected by peach color variations. It was preferred for finding defects in the near infrared region.

I 緒 言

桃は日本においては、袋掛けにより生産される果実であり、高品質が要求される代表的果実の一つである。しかし、桃は損傷を受け易い果実でもあることから、収穫から出荷までの工程の中において、その取り扱い上、最も慎重を要する果実である。

一般に、果樹園において収穫された桃は、30~40個(5~8 kg)を一つのトレイに一列に並べられ選果場に

持ち込まれる。選果場では第1表に示す品位基準の中で玉ぞろいを除いた項目について、人手により等級選別が行われる。

第1表 モモ果実の品位基準の概要

品位のよいものから順に秀, 優, 良とする。

品位の識別は、玉ぞろい、色沢(例; 秀, 優, 良の着色割合は砂子早生では50%以上, 40%以上, 20%以上, 白鳳では70%以上, 50%以上, 20%以上), 重欠点果(異品種果, 腐敗変質果, 未熟果または過熟果, 病虫害果, 傷害果), 軽欠点果(日焼, 核割れ, 葉害などによる外觀不良果)などの欠点の度合で行う。

* 農林システム学講座

** 農学部附属農場

*** 法文学部研究生

**** 岡山大学農学部

しかし、人手による選別において、選別項目が多いことから、この工程で多くの人手を要し、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いままでも経験的に指摘されている。

現在¹⁾、桃の選果工程において、等級選別を除いた他の工程は、ほぼ自動化が達成されている。これらのことから、桃の損傷果の選別工程の分野について自動化を推進することにより、選果施設の労働コストの低減と共に、桃品質の改善に役立つものと考えられる。

しかし、損傷果の選別についての研究は、カンキツについて報告されているのみである²⁾。

したがって、この研究は、画像処理を用いた桃の傷の検出システムを開発するための基礎研究として、先ず桃表面の傷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、切傷、刺し傷、剥皮傷等であるが、これらの損傷が加えられる条件を想定して、そのほとんどは人為的に傷をつけた。分光反射特性については、正常果と損傷果の比較検討を行った。

また本研究は科学研究費補助金（総合A，一般C）により行った研究の一部である。

Ⅱ 実験方法

分光反射の測定装置は、S社製 UV 3100 分光光度計であり、測定波長範囲は 290~2000 nm である。

1. 桃の損傷の種類

桃損傷の生ずる種類は、栽培上の条件、気象条件、収穫及び搬送・取扱条件等により異なるものである。

この研究は、桃の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、正常果と損傷果の分光反射

特性を検討した。

圧縮損傷：桃は収穫、搬送中に桃相互あるいは容器との接触圧によって物理的損傷を受ける。一般に圧縮損傷は特に果実の果底部に起こり、褐変が進行し、さらに進めば腐敗となる。しかし、人目により果肉の損傷が生ずるまでの接触圧による損傷果の判定は、圧迫が生じたとき、直接見分けることは困難な場合がある。むしろ、圧縮が加えられた後、時間の経過と共に発酵による変色が生じることにより識別することができるのが普通である。

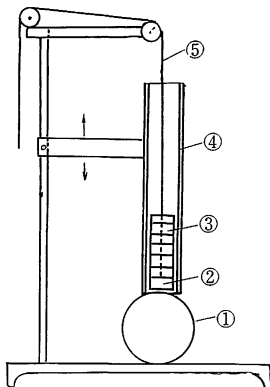
桃の圧縮には、引張・圧縮試験機（東洋ポールドウィン UTM-II-20）を用いた。圧縮の条件は、圧縮速度 2 mm/min、圧縮荷重は 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 kg である。圧縮板は 50×50×3(mm) の鋼板を用い、圧縮される桃は 1/3 程度を切り落とし、安定した状態で圧縮が行われる形態とした。

桃の圧縮部の位置は、マジックにて丸印をつけ、分光反射測定が圧縮位置で行えるようにした。

落下衝撃損傷：桃の落下衝撃は主に収穫中あるいは、トレイに収納中に手を離れて収穫トレイ等に落下する高さを想定して、落下高さを 20 cm とし、50~256 g の範囲で 5 段階とし、桃と接する時の衝撃板にアクリル板を用い分光光度計の測定窓の大きさを目安に直径 30 mm とした。

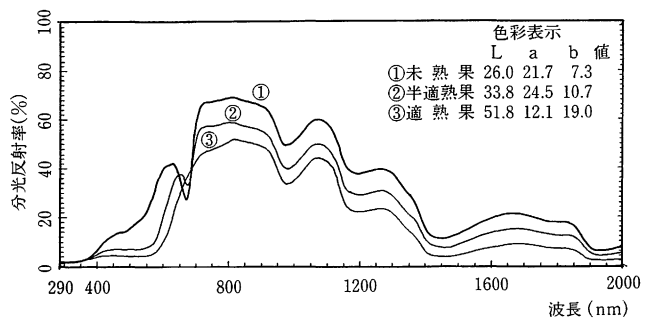
分光反射率の測定に際して、先ず正常果の分光反射率を測定し、その同一箇所に落下衝撃を与えるため、第 1 図の装置を用いた。

腐り損傷：桃の腐りは表皮の変色と共に急激に進行するものである。用いた腐り損傷果は、小売店より購入した桃の腐りを対象とした。腐りは主として果底部とパッ



第 1 図 落下衝撃試験装置

- ① 供試材料
- ② 衝撃板
- ③ 重り
- ④ 円筒（アクリル）
- ⑤ ひも



第 2 図 串形白桃の熟度による分光反射特性

トの面に接する部位に生じたものである。

切傷：切傷は収穫、搬送、取扱中に生ずるものと考えられるが、分光光度計の検出口のサイズが比較的大きいので、切傷の測定用の試験片を制作することが困難であったので、切傷は桃の果肉が露出した状態を考え、ナイフで桃の表皮を取り、果肉が露出したものを対象とした。

擦り損傷：擦り傷には樹上での風により小枝等により摩擦されたもの及び取扱上などに原因するものと考えられる。

しかし、圃場より擦り傷を選択することが困難であるので、ここでは、人為的に金属ブラシ、シロタワシ、サンドペーパー180#等により擦った場合である。この場合果肉が露出ししない程度の擦り傷とした。

打ち損傷：刺等による桃表面に損傷の受けた場合を想定して、剣ざん、シロタワシ等を用いて、桃表皮に小穴または傷を付けたものである。

供試桃は、1990年産の白鳳、白桃、赤秀である。

III 実験結果及び考察

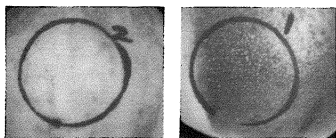
画像処理により桃の損傷を検出するためには、正常果と損傷果との間の分光反射率上の差があることが必要条件である。また選果の基準に示されている種々な損傷果の分光反射特性を明らかにすることにより、損傷果検出の波長域を探ることが可能になる。これにより、分光反射率差の生じる波長域のフィルタを通じて、画像処理により損傷果の検出が可能になる。

1. 正常果の部位別の分光反射特性

第2図は、串形白桃の正常果の中で未熟果、半適熟果、適熟果の果頂部の分光反射特性を示す。第3図はそれらの写真である。

分光反射率は熟度の進行に従い低下の傾向となり、未熟果程高い分光反射率である。

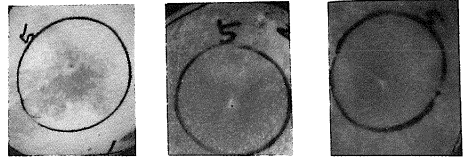
第4図は、白桃の黄色部と赤色部(第5図)



第5図 白桃正常果の①黄色部と②赤良部

の正常果の分光反射特性である。

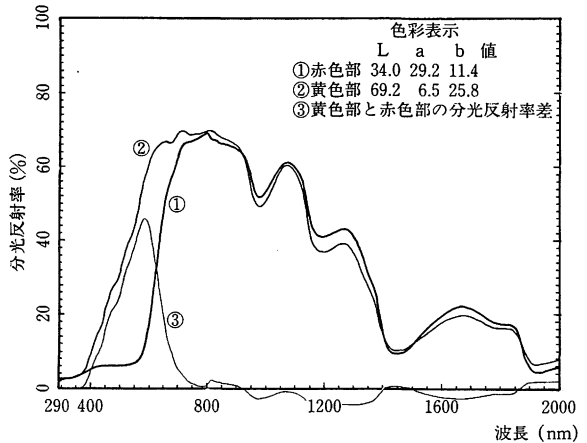
可視領域での赤色部の反射率は黄色部に比べ著しく低い値となる。しかし、800 nm 程度以上では、すなわち、近赤外光領域ではその分光反射率差は小さい。その上、



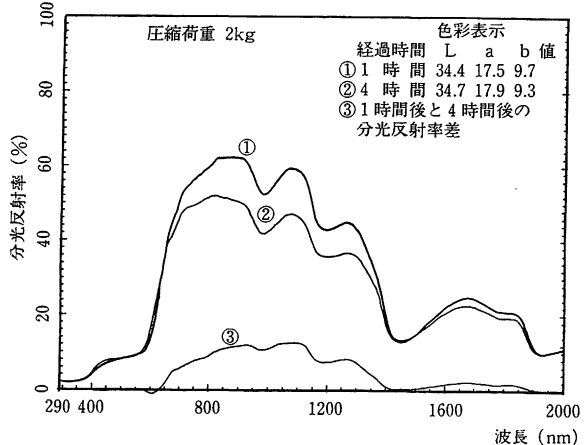
第3図 串形白桃の①未熟果、②半適熟果、③適熟果

色彩表示

	L	a	b
①	26.0	21.7	7.3
②	33.8	24.5	10.7
③	51.8	12.1	19.0



第4図 白桃正常果の黄色部と赤色部の分光反射特性



第6図 白鳳の赤色部の圧縮後の分光反射特性

近赤外領域においてピーク値の生ずる波長は、802, 1068, 1263, 1668 nm と熟度に関係なく、全く類似の波長であり、その分光反射率も78, 60, 39, 20%とほぼ近似した値を示している。

これらのことから、表面色の違いによる分光反射の影響は可視領域においてのみ生ずることが明らかになった。

2. 損傷果の分光反射特性

1) 圧縮損傷

桃の圧縮に圧縮板を用いた関係で、正常果の圧縮位置と圧縮を行った位置がずれる恐れがあるため、正常果と圧縮果の分光反射率の比較はできなかったが、圧縮後の時間の経過について検討した。

第6図は白鳳の赤色部についての、圧縮荷重 2 kg の1時間、4時間経過後の分光反射特性を示す。

1時間後と4時間後では、分光反射曲線はほぼ同じ傾

向となり、ピーク値は波長約870, 1070, 1260, 1667nmとなり、一方谷は 976, 1194, 1444, 1923 nm となる。

一般に波長約 1444, 1923 nm での分光反射率の低下は、桃に含まれる水分の影響と考えられる。

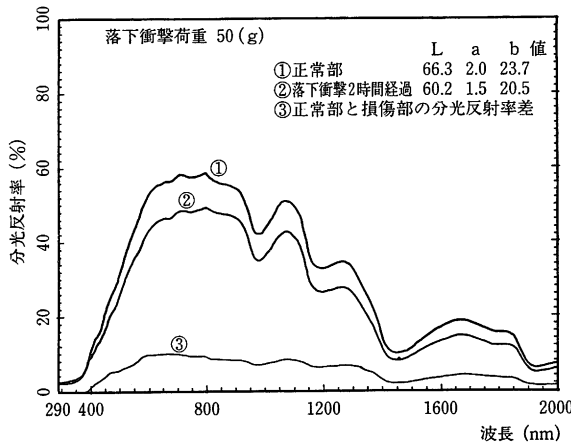
また、1時間後と4時間後の分光反射率の差は、波長922, 1076, 1261 nm で、それぞれ約 12, 13.8%の減少となる。

2) 落下衝撃損傷

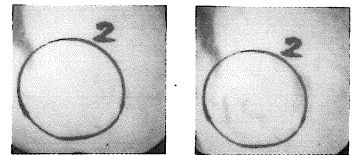
第7図は白桃の黄色部（第8図）についての落下衝撃荷重 50 g の場合の正常部と落下衝撃2時間後の分光反射率である。

正常部と損傷部の分光反射曲線は、ほぼ同傾向の分布曲線となるが、その差は特に 500 nm から 1400 nm の範囲で明確になる。

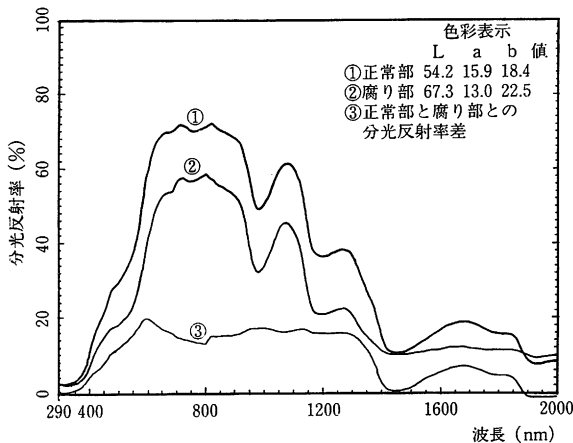
正常部の分光反射率のピーク値の順位は波長713, 796, 1070, 1262, 1669 nm となり、一方谷は波長 744, 977,



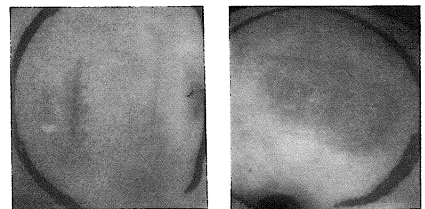
第7図 白桃の黄色部の落下衝撃損傷の前、2時間経過後の分光反射特性



第8図 白桃の黄色部の落下衝撃前①正常部と②2時間経過後



第9図 白桃の正常部と腐り部との分光反射特性



第10図 白桃の①正常部と②腐り部

1194, 1449, 1925 nm である。また、圧縮損傷の場合と同様に波長が 1449 nm と 1925nm の分光反射率は谷となる。

また、正常部と損傷部との分光反射率の差を示す分光反射率曲線においては、ピーク値の波長は 670, 1068, 1688 nm で、分光反射率差は、9.95, 8.35, 4.15%であった。

この場合、果実の表面色の影響の表れない、800 nm 以上の近赤外領域において、正常部と損傷部の分光反射率差の生ずることが、画像処理に役立つ波長帯であることが確かめられた。

また、分光反射率は、衝撃荷重の大きさによってもその差が認められたが、全く同じ傾向の分布特性が得られた。

分光反射特性に表面色の影響の生じる可視領域における同一色での落下衝撃による分光反射率は明かであったが、表面色の異なるものとの分光反射率の差において、規則的な差は生じなかった。

2) 腐り損傷

供試の腐り損傷果は収穫から小売店頭まで果実の底部に腐りが生じたものを対象とした。正常部と腐り部と比較する上で同一果実の腐り周辺の色とほぼ同程度と見なせる果実の底部との比較である。

第9図は白桃の腐り部(第10図)と正常部との分光反射特性である。

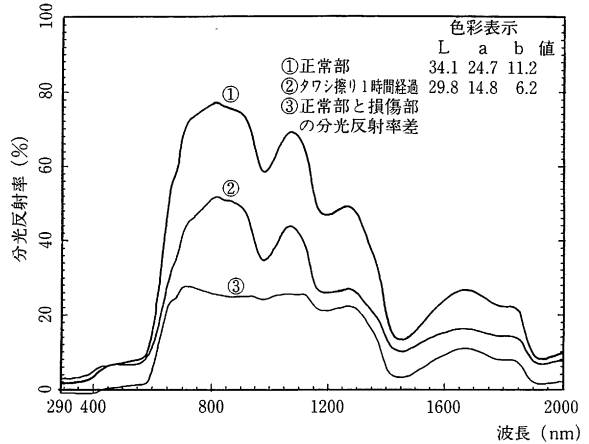
正常部と腐敗部との分光反射曲線は、可視領域から近赤外域の 1200 nm 程度までは、ほぼ同程度の傾向となるが、波長 1200 nm 以上では正常部はピーク値と谷が生じ、分布は波動的になるのに反し、腐り部ではほぼ直線となる。

正常部の分光反射率のピーク波長の順は、705, 813, 1069, 1261, 1667 nm, その谷は、949, 977, 1193, 1446, 1923 nm となる。また腐敗部についても、ピーク波長の順は、713, 796, 1070, 1260であり、谷は 739, 977, 1198 nm となる。

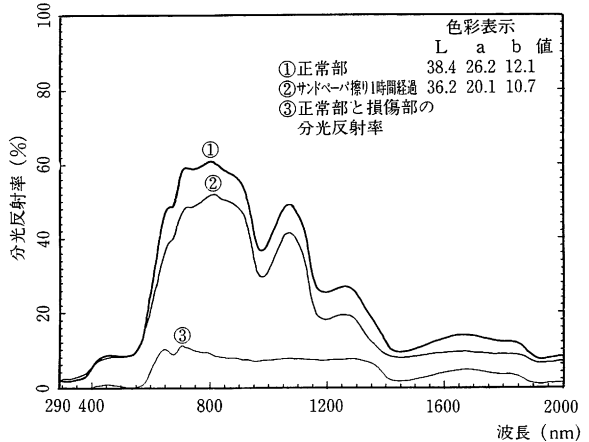
これらのことから、近赤外領域における分光反射率の分布波形がほぼ近似しているものと考えられる。

また、腐り部と正常部との分光反射率の差におけるピーク波長は 590, 867, 994, 1126,

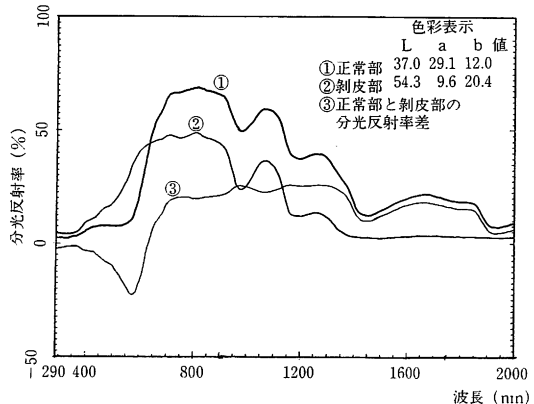
1671 nm, その反射率差は、それぞれ、約 20, 15, 17, 17%であり、その差は約 500 nm から 1350 nm の範囲にわたり15%以上の差となっている。



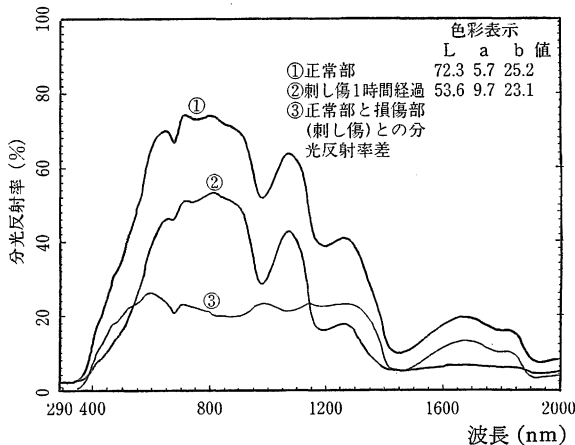
第11図 赤秀の赤色部のタワシ擦りの前、1時間経過後の分光反射特性



第12図 白鳳の赤色部のサンドペーパー擦りの前、1時間経過後の分光反射特性



第13図 赤秀の正常部と剥皮部の分光反射特性



第14図 白鳳の赤色部と刺し傷（1時間経過）の分光反射特性

以上のことから、正常部と腐り部の分光反射率の差は、可視領域と近赤外領域にわたり存在し、その差を検出の対象とする画像処理の適用の可能性が明らかになった。

4) 擦り損傷

第11図は赤秀の赤色部（色彩表示 L 34.1, a 24.7, b 11.2）をシウロタワシで擦る前の正常部と擦った後の損傷部の時間経過後の分光反射特性である。

第12図は白鳳の赤色部（色彩表示 L 38.4, a 26.2, b 12.1）をサンドペーパー180#で擦る前後の分光反射特性を示す。

正常部と損傷部の分光反射曲線は、ほぼ類似の傾向となるが、分光反射率において、タワシによる損傷部の方がサンドペーパーによる場合に比較してその差は大となる。これは、タワシによる方がサンドペーパーによる場合に比べて、表面が滑らかに擦られたためによるものでないだろうか考える。

また、タワシとサンドペーパーの場合における分光反射率のピーク波長は 810, 1071, 1262, 1669 nm において、谷は 976, 1194, 1445, 1927 nm のほぼ近い値において生じる。正常部と損傷部の分光反射率における差は、摩擦材の種類により、その絶対値において差は認められるが、波長約 650~1350 nm の範囲において顕著な差が認められた。

5) 切り損傷・刺し損傷

第13図は、赤秀の赤色部（色彩表示 L 37.0, a 29.1, b 12.0）の正常部と皮を剥いだときの分光反射特性を示す。剥皮により表面色の影響を受ける可視領域（650 nm 以下）において、正常部より剥皮部の方が高い分光反射率を示す。

正常部のピーク波長は、809, 1071, 1260, 1667 nm, その谷は 976, 1195, 1445, 1924 nm となるが、剥皮部では約 1350 nm 以上において、ピーク値と谷が生じず、ほぼ一定の値となる。この点は今後検討すべき問題である。

これらのことから、近赤外領域（700~1900 nm）の正

常部と剥皮部の分光反射率の差は、約10~25%の範囲にある。

第14図は、白桃の黄色部（色彩表示 L 72.3, a 5.7, b 25.2）について正常部と剣ざんによる損傷部との分光反射特性を示す。

正常部の分光反射特性に対し、損傷部の反射特性において、分光反射率は全体に低い値を示し、特に、可視領域（600 nm 以下）での差が大となる。これは剣ざんの刺傷により変色を伴うことによるものと考えられる。一方1400 nm 以上の近赤外領域では、剥皮の場合と同様に、剣ざん損傷部の反射率はほぼ一定の値を示す。

分光反射率のピーク波長及び谷は、ほぼ剥皮の場合と近似した波長において生ずる。また、正常部と損傷部との分光反射率は波長 598 nm で26.3%を最大のピーク値として、可視領域から近赤外領域（450~1850 nm）にわたり、顕著な差が認められた。

IV 結 言

この研究は、画像処理を用いた桃の傷の検出システムを開発するための基礎研究として、桃の表面の傷について分光反射特性を波長 290~2000 nm にわたって調べたものである。供試桃の傷は、圧縮、落下衝撃、擦り、切り、刺し及び腐りである。

実験結果の主なもの次は次の通りである。

1. 分光反射率は、桃の熟度の進行と共に減少する傾向が認められた。
2. 適熟果の黄色部と赤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る。
3. 桃の損傷部と正常部における分光反射率の差は、損傷の程度、種類により異なるが、可視領域から近赤外領域にわたり生ずる。

しかし、可視領域は桃の表面色の影響が生ずることから、画像処理に当たっては、近赤外領域での傷の検出に限り、検討する必要がある。

以上の研究から、桃の損傷果の画像処理による検出の可能性が明かとなった。

引用文献

- 1) 中村 準他 3名：三菱重工技報 26(3)：241-246, 1989.
- 2) CHIN, R. T: Pattern Recognition 15(4)：343-457, 1982.
- 3) 河野澄夫他 4名：農機学会誌 46(1): 627-632, 1984.
- 4) 鈴木光雄・中川靖夫：農機研報 (20)：49-62, 1986.
- 5) 渡辺敦夫：コールドチェーン技報：77-82, 1973.
- 6) OSBORNE B. G. and FEARM T.: Near infrared spectroscopy in food analysis: John Wiley and sons New York 1988 p. 1-151.