

## 近赤外分光法によるナシ過熟果の選別

西川祐司・新田浩通・重藤和明\*・宮本晋吾\*

キーワード：ニホンナシ，近赤外分光法，選果，果皮色，過熟果

近年，近赤外分光分析装置(以下，光センサーと記す)によって果実を非破壊で選別できる選果システムが多く，果樹産地に導入されてきた(河野，1998)。光センサーによる選果システムでは，果実内部の多くの形質を非破壊で一挙に分析できるというメリットがあり，品質重視の販売が可能である。

河野ら(1992, 1993)は，ウンシュウミカンに透過光を当てることにより，糖度を非破壊で計測できることを明らかにした。この頃から光センサーを装着した選果機の開発が急速に進み，現在では，ウンシュウミカンのほか，リンゴ，モモ，ナシ，カキ，メロン，トマトおよびスイカなどの品目での糖度計測が実用化されている。また，近年では，ナシの心腐れ症などの果実内部障害が検出可能となりつつある(Inoue et al., 2002)。

本県の中北部に位置する世羅地区の無袋ナシ産地は，1997年頃から増加したナシの心腐れ果を排除することを目的として，2000年に(株)エミネット社製の光センサー(以下，アグリセンサー®と記す)を導入した。その結果，心腐れ症のみならず，みつ症の検出や，果実糖度の計測が選果段階で可能となった。

また，世羅地区のナシ農園では，適熟果を収穫することを基本としているが，栽培面積が大きいため，必ずしも適期に収穫できず，過熟果が混入することがある。そのため，果皮色を基準として目視によりナシの過熟果を選別しているが，多くの労力と時間を要している。そこで，世羅地区に導入されているアグリセンサー®を用いて，熟度判定基準の設定に関する研究に取り組んだ。ここでは，熟度の要因を果皮色に限定し，無袋栽培されたナシの過熟果をアグリセンサー®によって選別するためにはどのような指標を用いるべきかを調査し，実用化の可能性を検討した。

### 材料および方法

2001年に世羅郡世羅町および豊田郡安芸津町で露地栽培され，熟度が異なる‘愛甘水’(世羅町のみ)，‘新水’，‘幸水’および‘豊水’を，表1に示すように，1産地につき145~440果を収穫し，果皮色を計測した。また，収穫日は，表1に示すように，各品種における通常の成熟期間内とした。

果皮色の計測は，カラーチャート(農林水産省果樹試験場編)により‘新水’，‘幸水’および‘豊水’は，それぞれ‘新水’用，‘幸水’用および‘豊水’用を用いた。なお‘愛甘水’については‘幸水’用を適用した。あわせて，分光測色計(ミノルタ社製，CM-2002)により，果実の赤道部からていあ部における果皮の着色が最も進んだ部位および最も着色が遅れた部位の2点の果皮色を測定した。分光測色計による果皮色の計測は，ナシの果皮色の緑と赤の色調変化の測定に適したa値について解析した。これらの調査方法に加えて目視により緑色や黄色の着色程度を以下の1~4の4段階に指数区分し，さらに，各指数の中間的なものについては0.5を加算し，7段階に区分することにより(以下，目視区分指数と記す)果皮色を調査した。

表1 調査品種および生産地(2001年)

品種	生産地	調査果実数(果)	収穫日
‘愛甘水’	世羅	166	8月6日
‘新水’	安芸津	145	8月6日
	世羅	125	8月6日
		40	8月20日
‘幸水’	安芸津	209	8月19日
	世羅	246	8月20日
‘豊水’	安芸津	440	9月4日
	世羅	278	9月10日

\*財団法人 雑賀技術研究所  
平成15年7月9日受理

指数1：果皮全体が濃い緑色。

指数2：果皮に黄変はなく、50%程度が薄い緑色で残りが濃い緑色。

指数3：果皮の50%程度が薄い緑色で残りが黄変。

指数4：果皮の90%以上が黄変したものとした。

以上の測定を行った後に、(財)雑賀技術研究所に設置され、標準となるアグリセンサー<sup>®</sup>基準機に果実を通し、個々の果実固有のスペクトルを計測した。その後、これらのデータを多変量回帰分析の一つである、相島ら(1996)による Partial Least Squares 回帰分析法(以下、PLS法と記す)を用いて解析し、作成された検量線の相関係数と標準誤差をもとに、その精度を比較した。サンプルの抽出は無作為に行い、4品種とも各産地から採集した果実の半数を検量線作成用(以下、モデルと記す)として用いた。なお、モデルのみでは、サンプルが検量線に過剰適合することがあり、この場合には、作成された検量線を適正に評価することができない。そのため、残りの半数の果実は、検量線評価用(以下、プレディクションと記す)としての解析に用いた。

## 結果および考察

近赤外線を利用した果実の理化学的特性に関する情報は、測定対象とする果実に照射した際に、果実内の各成

分に吸収された光と通過した光を各波長域毎に測定することによって得ることができる(岩元ら, 1994)。このように、光学的方法で対象物のもつ情報を得ようとする仕組みを農業分野では一般に光センサーと総称している。従来の光センサーで果皮色を判別する場合には、反射法が用いられていたが、透過法を用いて実用化された例は見当たらない。しかし、アグリセンサー<sup>®</sup>のように透過法による光センサーを用いて、内部形質のみならず果皮色を判別できれば本センサーの有効活用となる。

そこで、筆者らは近赤外透過光を利用するアグリセンサー<sup>®</sup>で果皮色の判別を可能とする検量線作成に取り組んだ。

アグリセンサー<sup>®</sup>は、可視光から近赤外光までの測定が可能であるが、どの波長域が果実品質の解析に有効で

表2 アグリセンサー<sup>®</sup>を通したナシ果実において波形の乱れが著しい波長域 (nm)

品種	生産地	
	世羅	安芸津
‘愛甘水’	912-930	—
‘新水’	917-930	916-930
‘幸水’	920-930	914-930
‘豊水’	917-930	910-930

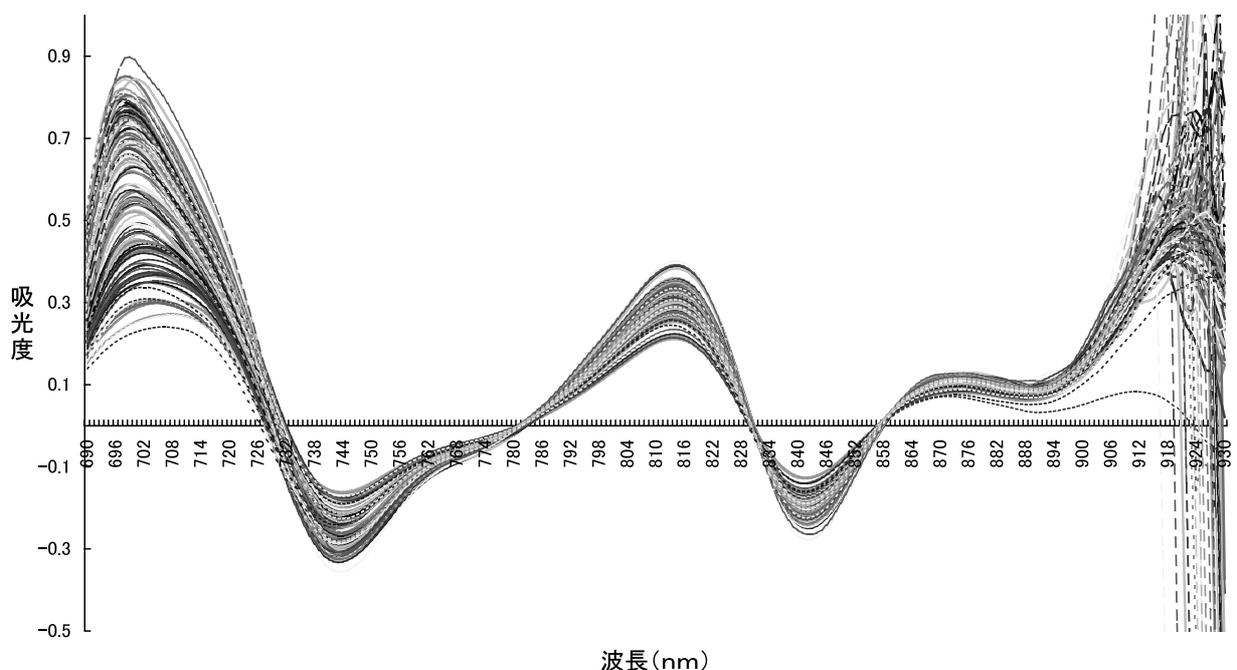


図1 アグリセンサー<sup>®</sup>によるナシ‘愛甘水’の果実測定波形

注) 波形は、2次微分後の個々の果実のスペクトルを示す。

あるかを検討した。図1と表2に示すように、‘愛甘水’では、912~930nm、‘新水’では、世羅産が917~930nm、同安芸津産が916~930nm、‘幸水’では、世羅産が920~930nm、同安芸津産が914~930nm、‘豊水’では、世羅産が917~930nm、同安芸津産が910~930nmの範囲で波形の乱れが著しかった。また、700nm付近の波長の乱れについては、同一波長域で吸収ピークが現れているため、果実が有する情報と判断した。波形の乱れは、測定する果実の透過光量と関係があり、透過光量が減少すると果実情報の反映度が低下するため、結果として、無関係な情報がスペクトルに反映される。

このようなデータを反映した検量線を用いると、実際場面における再現性が低下する場合がある。このため、4

品種ともに波形の乱れが大きかった910~930nmの波長域は分析に適さないと判断した。したがって、今回、検量線の作成には、各品種ともに波形の乱れが少なく、実用的な波長域、すなわち、690~900nmの波長域を用いてPLS法により解析を行った。

アグリセンサー®を用いて作成した各種検量線の相関係数と標準誤差を表3に示した。作成した検量線によって果実品質を測定するためには、相関係数が高く、標準誤差が小さいことが望ましい。

目視区分指数によって作成した検量線の相関係数は、モデルでは、いずれの産地においても0.89~0.96の範囲にあり安定して高かった。これに対し、プレディクションでは、安芸津産の‘豊水’で0.75、‘新水’で0.82であ

表3 アグリセンサー®による果皮色測定と各種検量線の精度

生産地	品種	調査項目	モデル		プレディクション	
			相関係数	標準誤差	相関係数	標準誤差
世 羅	‘愛甘水’	目視区分指数 <sup>a)</sup>	0.89	0.47	0.93	0.43
		カラーチャート <sup>b)</sup>	0.88	0.60	0.88	0.51
		分光測色計 a 値 <sup>c)</sup>	0.89	2.32	0.86	2.20
	‘新水’	目視区分指数	0.92	0.39	0.88	0.54
		カラーチャート	0.79	0.80	0.78	0.62
		分光測色計 a 値	0.77	3.21	0.88	1.23
	‘幸水’	目視区分指数	0.96	0.30	0.96	0.31
		カラーチャート	0.82	0.57	0.82	0.50
		分光測色計 a 値	0.93	1.95	0.91	2.05
	‘豊水’	目視区分指数	0.93	0.37	0.92	0.35
		カラーチャート	0.91	0.66	0.89	0.66
		分光測色計 a 値	0.95	1.27	0.92	1.26
安芸津	‘新水’	目視区分指数	0.93	0.32	0.82	0.37
		カラーチャート	0.91	0.50	0.71	0.69
		分光測色計 a 値	0.89	1.70	0.79	1.90
	‘幸水’	目視区分指数	0.94	0.36	0.93	0.40
		カラーチャート	0.91	0.59	0.84	0.66
		分光測色計 a 値	0.88	2.69	0.89	2.07
	‘豊水’	目視区分指数	0.92	0.33	0.75	0.34
		カラーチャート	0.83	0.87	0.55	0.71
		分光測色計 a 値	0.75	1.01	0.75	1.01

<sup>a)</sup> 目視区分指数

指数1：果皮全体が濃い緑色。

指数2：果皮に黄変は無く、50%程度が薄い緑色で残りが濃い緑色。

指数3：同50%程度が濃い緑色で残りが黄変。

指数4：同表面積の90%以上が黄変。

<sup>b)</sup> 農林水産省作成カラーチャートを用いて、‘幸水’、‘愛甘水’は、‘幸水’用を、‘豊水’は‘豊水’用を、‘新水’は‘新水’用をそれぞれ適用した。

<sup>c)</sup> 分光測色計（ミノルタ社製、CM-2002）により、緑と赤の色調の変化を示す a 値を解析対象とした。

り、モデルの値に比べてやや低い値を示したが、世羅産の4品種と安芸津産の‘幸水’では0.88～0.96の範囲にあり、モデルと同様に高い値を示した。また、目視区分指数によって作成した検量線の標準誤差は、モデルで、いずれの産地においても0.30～0.47、予測シオンで0.31～0.54の範囲にあった。

一方、カラーチャートによって作成した検量線の相関係数は、モデルで0.79～0.91、予測シオンで0.55～0.89の範囲にあり、目視区分指数により作成した検量線の値より低かった。また、標準誤差は、モデルで、0.57～0.80、予測シオンで0.50～0.71の範囲にあり、目視区分指数による値よりも大きかった。

さらに、分光測色計a値によって作成した検量線の相関係数は、モデルで0.75～0.95、予測シオンで0.75～0.92の範囲にあった。これらを目視区分指数により作成した検量線と比較すると、モデルの相関係数は、世羅産‘豊水’は目視区分指数により作成した検量線より高く、‘愛甘水’は同一の値を示したが、その他はいずれも低かった。また、予測シオンの相関係数は世羅産‘新水’と‘豊水’、安芸津産‘豊水’で同一値を示したが、その他はいずれも低かった。標準誤差は、モデルで1.01～3.21、予測シオンで1.01～2.20の範囲にあり、他の二つの果皮色測定法に比べて顕著に大きかった。

以上の結果から、今回用いた3種類の果皮色測定法の中では、独自の目視区分指数をもとにして作成した検量線とアグリセンサー<sup>®</sup>による果皮色測定値との相関係数が安定して高く、標準誤差が最も小さかったことから、検量線の精度が最も高いと判断した。

これは、カラーチャートや分光測色計a値では、調査部位が果皮の着色が最も進んだ部位および最も遅れた部位

の2点を測定するのに対し、目視区分指数では、果皮全体の着色分布を測定しているため、多光源型のアグリセンサー<sup>®</sup>の測定方法に、最も適した判別方法であったためと考えられる。

このため、今回精度が最も高いと判断された目視区分指数によって作成した検量線について、さらに、詳細な分析を行った。

世羅産‘幸水’と‘豊水’におけるモデルを図2と図4に、各々の予測シオンを図3と図5に示した。さらに、表1に示したサンプルを用いた4品種、7区分の検量線をモデルと予測シオンについて作成し、これらの検量線の特徴を表4に示した。目視区分指数が1～2の未熟果は、実測値に比べてセンサー推定値が高い傾向が認められた。一方、‘幸水’では指数3、‘豊水’では指数2.5～3で、センサー推定値が実測値に比べて低い傾向が認められた。このことから、目視区分指数をもとにして作成した検量線のうち、指数3以下では、実測値とセンサー推定値との間で精度が低かったことから、さらに精度を向上させる必要があると考えられた。しかし、目視区分指数3.5～4では、実測値とセンサー推定値がほぼ同じ値で示されたことと、ほとんどのデータは実測値とセンサー推定値の誤差が1以内であったことから、実用可能と判断した。

以上の結果から、独自の目視区分指数をもとにして作成した検量線をアグリセンサー<sup>®</sup>を装着した選果機に導入することにより、ナシの選果段階における過熟果を目視で選別する現状を光センサーによる方法に代替させることが可能で、選果効率をより向上させることができると考えられる。

表4 目視区分指数をもとにして作成した検量線の特徴

品 種	生産地	実測値よりセンサー推定値が高い傾向が認められる範囲		実測値よりセンサー推定値が低い傾向が認められる範囲	
		モデル <sup>a)</sup>	予測シオン <sup>b)</sup>	モデル <sup>a)</sup>	予測シオン <sup>b)</sup>
‘愛甘水’	世 羅	指数2以下	指数1以下	—	指数3
‘新 水’	安芸津	指数1.5以下	指数2以下	指数2.5	指数2.5
	世 羅	指数1	指数1.5以下	指数2.5	指数3
‘幸 水’	安芸津	指数1	指数1	—	—
	世 羅	指数1	指数1	指数3	指数3
‘豊 水’	安芸津	指数1.5以下	<sup>c)</sup>	—	—
	世 羅	指数1.5以下	指数1.5以下	指数3	指数2.5～3

a)：検量線作成に用いたサンプル群より推定した値。

b)：検量線作成に用いなかったサンプル群より推定した値。

c)：指数2以上のデータで作図されているため、指数1.5以下の判断は不可。

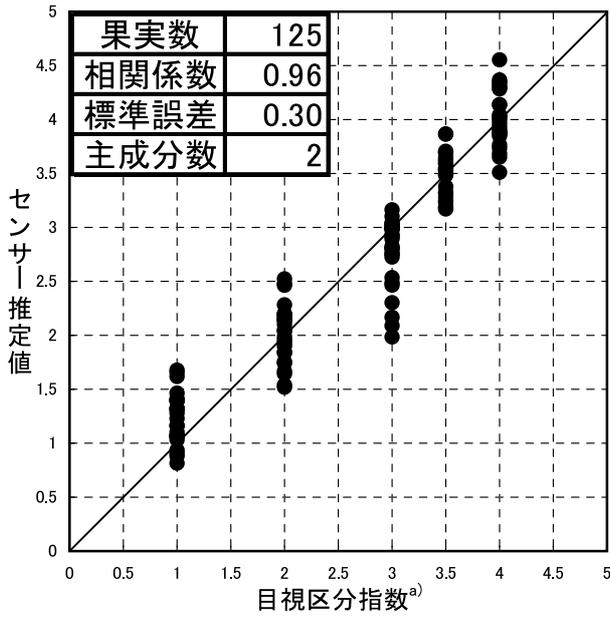


図2 ナシ‘幸水’（世羅産）の目視区分指数による実測値と光センサー推定値との関係（モデル）

a) 目視区分指数：表3に同じ

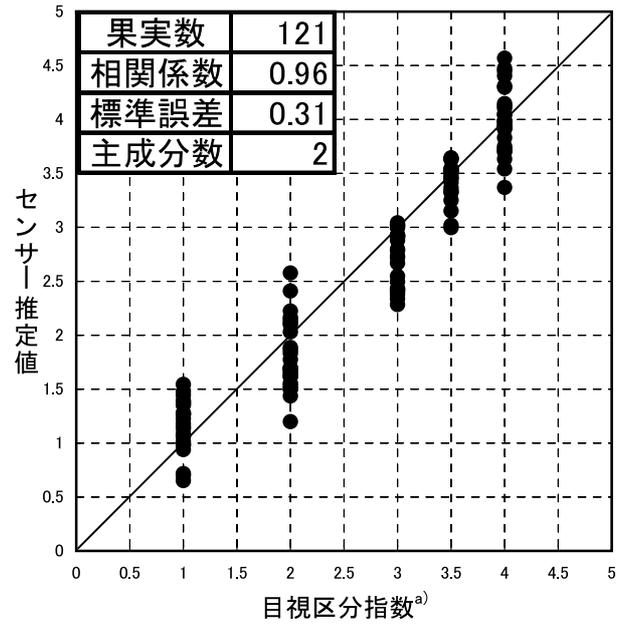


図3 ナシ‘幸水’（世羅産）の目視区分指数による実測値と光センサー推定値との関係（プレディクション）

a) 目視区分指数：表3に同じ

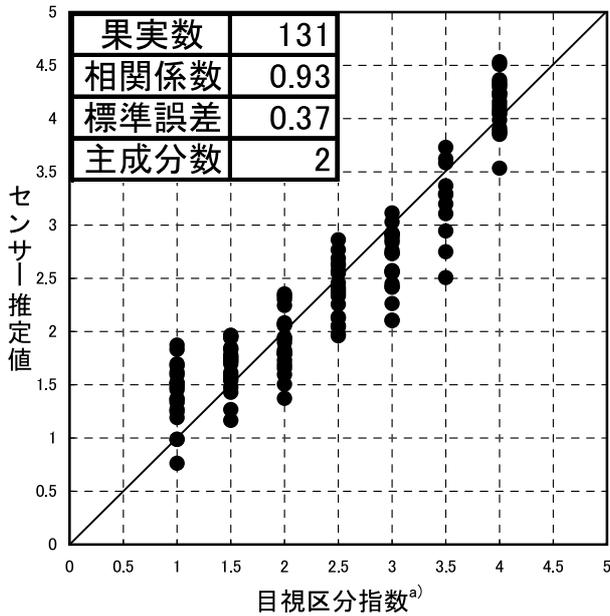


図4 ナシ‘豊水’（世羅産）の目視区分指数による実測値と光センサー推定値との関係（モデル）

a) 目視区分指数：表3に同じ

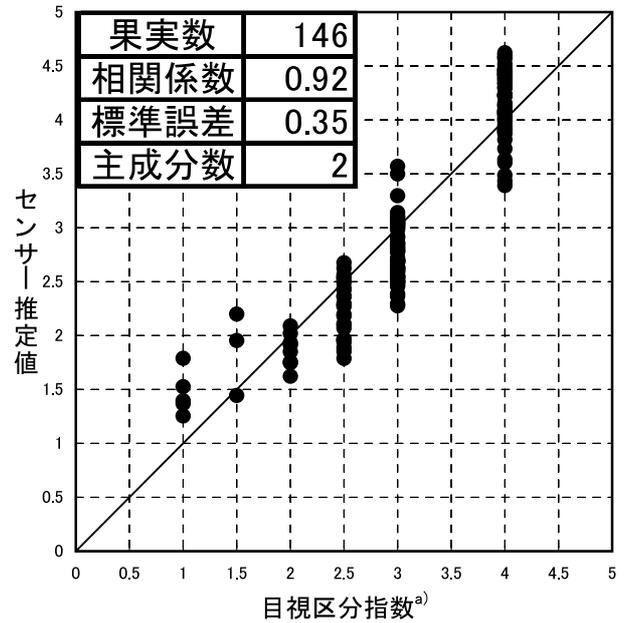


図5 ナシ‘豊水’（世羅産）の目視区分指数による実測値と光センサー推定値との関係（プレディクション）

a) 目視区分指数：表3に同じ

## 摘 要

透過光型の光センサーであるアグリセンサー®を用いて無袋栽培されたナシ‘幸水’，‘豊水’，‘新水’および‘愛甘水’の果皮色の判別を可能とするため，波形の乱れが少なく，果実のスペクトルの解析に好適な690～900 nmの波長域を用いた解析により検量線の作成を試みた。

1. 独自の目視区分指数を用いて作成した検量線は，カラーチャートや分光測色計によって作成した検量線よりも相関係数が高く，標準誤差が小さかった。
2. 独自の目視区分指数を用いて作成した検量線の精度は，目視区分指数3以下でやや低かったが，過熟果に相当する目視区分指数3.5～4で高かった。
3. 以上のことから，独自の目視区分指数を用いて作成した検量線をアグリセンサー®に導入することにより，ナシの過熟果を高精度で判別することができると判断した。

## 謝 辞

(株)エミネットの技術部諸氏からは，終始研究のサポートを賜った。現地における果実の調達，調査に当たっては，農事組合法人世羅幸水農園と当果樹研究所の技術員諸氏から多大な協力を得た。これら関係各位に深く感謝する。

## 参 考 文 献

- 相島鐵郎. 1996. データ解析法. 尾崎幸洋・河田聡編. 近赤外分光法. 学会出版センター. pp. 109-118.
- Inoue, K., Nasu, H. and Kasuyama, S. 2002. Selection for Fruit Core Rot of Japanese Pear by a Non-Destructive Inspection Machine. Acta Hort. 587: 691-693.
- 岩元睦夫・河野澄夫・魚住純. 1994. 近赤外分光法入門. 食品の非破壊分析法. 幸書房. pp. 12 - 39.
- 河野澄夫. 1998. 青果物の非破壊品質評価技術の現状. 日本食品保蔵科学会誌. 24(3): 193-200.
- 河野澄夫・藤原孝之・岩元睦夫. 1993. 近赤外透過法によるウンシュウミカン糖度の非破壊測定. 園学雑. 62(2): 465-470.
- 河野澄夫・渡邊久芳・岩元睦夫. 1992. 光ファイバーを用いた近赤外分光分析法によるモモ果実糖度の非破壊測定. 園学雑. 61(2): 445-451.

## Selection of Over-ripe Japanese Pear by Near-infrared Spectroscopy

Yuji NISHIKAWA, Hiromichi NITTA, Kazuaki SHIGEFUJI and Shingo MIYAMOTO

### Summary

The authors derived a calibration curve from an analysis using the wavelength region 690~900 nm which is suitable for spectral analysis of the Japanese pear cvs. 'Kosui', 'Hostui', 'Shinsui' and 'Aikansui' produced without bagging. This technique distinguishes small changes in the pericarp color of the fruit using transmitted light.

The correlation coefficient of the calibration curve made using the original visual observation indices was higher than those using either a color chart or a spectral diffraction colorimeter, and the standard error was smaller.

The accuracy of the calibration curve made using the original visual observation indices was low for visual observation indices under 3, but was high in the range 3.5-4, which corresponded to over-ripe fruit.

From the above result, it was judged that the over-ripe Japanese pear could be distinguished extremely accurately by introducing the near-infrared instrument, Agrisensor<sup>®</sup>, to the fruit grading process in a pack house, and applying the calibration curve derived from the original visual observations.

**Keywords** : Japanese pear, near-infrared spectroscopy, fruit grading, pericarp color, over-ripe fruit