

梨の表面色と熟度の相関について

工藤岳史^{*1}・室谷裕志^{*2}・羽島正紘^{*3}・鈴木綜太^{*4}・若木守明^{*5}

Dependence of maturity on surface color of pears

by

Takefumi Kudo, Hiroshi Murotani, Masahiro Hazima, Souta Suzuki and Moriaki Wakaki

(Received on Sep.24,2006 & accepted on Dec.26,2006)

Abstract

The Japanese pear called 'Kosui' does not increase in ripeness after being harvested. Therefore, a harvester must estimate the ripeness of pears on the tree. To estimate the ripeness of a pear, the harvester examines its surface color. However, the surface color estimation of pears is influenced by the harvester's sensory ability. Recently, the sugar content of fruit has been measured by portable noncontact equipment using rays in the infrared region. This equipment has some problems in that it is heavy, bulky and expensive. In this study, the ripeness of pears was estimated from their surface color by a method in which only reflectance in the visible-light region is used. Therefore, the resulting equipment is small, portable and inexpensive. Currently, the surface color of a pear is determined by spectroscopy using an L*a*b* color system. However, this method entails a long measurement time and expensive equipment. The feature of our proposed method is to use only two wavelengths in the visible-light region. In this method, pear ripeness was determined using the reflectance ratio of these two wavelengths. Band-pass filters and LEDs were used for detecting the two characteristic wavelengths. As a result, the degree of pear ripeness was successfully estimated. Miniaturization and a low cost were realized using LEDs. We propose that this method can be applied to many other types of fruit.

Keywords: Pear, Surface color, Spectral Reflectivity, LED

1. 背景・目的

農業分野の国際化にともない、国産農産物の高品質化、低コスト化が望まれている。また、農業作業者の高齢化、パートタイム作業者の増加にともない、作業負担の軽減と作業内容の規格化が必要とされている。このような背景から、工業分野での品質管理手法や評価方法が農業分野に用いられ始めている。

果実の熟度評価手法を考えたときに、抜き取りによる評価方法では、果実個々の熟度を保証することができない。農産物の差別化、高付加価値という点から、現在は非接触法による果実個々の熟度評価が望まれている。しかし、現在の主流である非接触法による熟度評価装置（主に赤外線糖度計）では、一般に以下のような問題が考えられる¹⁾。

- (1) 果実の収穫時期が限定されるために、高価な評価装置では減価償却に問題がある。
- (2) 従来の選果場で分別する方法では、収穫後に熟度が上がらない作物については、樹上で熟度を上げ収穫に適した状態（適熟）にできないため、不良品となり採算性の悪化をまねくことになる。

- (3) 従来の携帯型の非接触糖度（熟度）評価装置は、測定時の外部要因（日照条件、果実表面のぬれ・汚れ等）の影響を受けて評価のばらつきをまねくことがある。
- (4) 従来の携帯型の非接触糖度（熟度）評価装置は、重く、大きく作業者の負担となっている。
- (5) 従来の携帯型の非接触糖度（熟度）評価装置は、高価でありパートタイムの作業者全員に持たせることができない。

上記の点から本研究は、安価であり、携帯型である評価装置の開発を目的とした。また、研究の最初の対象としては、追熟しにくい日本梨の中で多く生産されている「幸水」梨を選んだ。

2. 従来の評価方法

2.1 従来方法

評価手法を考える上で、本研究では熟練作業者がほとんど間違わずに適熟のものを収穫することに注目した。熟練作業者に

* 1 工学研究科光工学専攻修士課程
* 2 応用理学科光工学専攻講師
* 3 防衛医科大学教授
* 4 東京眼鏡専門学校主任講師
* 5 応用理学科光工学専攻教授

よる梨の収穫判断の判定プロセスは、最初に梨の熟度を未熟、適熟、過熟の3つに大別することから始まる。未熟とは、糖度や大きさが足りずにまだ収穫に適さない状態、適熟とは今収穫するのが適当と思える熟度状態、過熟とは適熟状態を乗り越えて熟しすぎている状態を表す。このときの作業者の判断基準は、果実を手を持ったときの重みや大きさ、果実を見たときの果実表面の色合いおよび果点が浮き上がって見えるか沈み込んで見えるのかである。



Fig.1 The surface color of pears 'Kosui'.

Fig.1に梨の写真を示したが、白い斑点のことを果点といい、果実表面を覆っている茶色のコルク層の下の色を地色という。地色は果実熟度との相関が高い。

作業者はこの熟度の判断の後に適熟な果実を収穫する。つまり基本的には、「梨の見た目」という感覚量が評価の主体である。この感覚量による評価であるために、作業者の経験による差が収穫物の良品率に大きく作用している。この判断基準の「見た目」ということに関しては、従来からカラーチャートと梨の表面色の比較による熟度の判定が行われてきた²⁾。しかし、作業性や判定の難しさから、実際にはその利用は多くない。

2.1.1 L*a*b*表色系による評価³⁾⁴⁾

「見た目」ということから表面色に注目し、L*a*b*表色系で評価する方法がある。論文によると、「豊水」梨の表面色を色彩色差計で計測した後、L*a*b*表色系を用いて評価している。L*a*b*表色系は、CIE（国際照明委員会）が1976年に規格化した感覚色度であり、L*値は対象物の明度、a*、b*値は色相と色彩を表す。a*は赤-緑に変わる色相の方向と、+で赤色、-で緑色の割合を示す⁵⁾。同様に、b*値は黄-青の色相の方向と+で黄色、-で青色の割合を示す。

この報告の手法では、熟度が増していくに伴いa*値が-から+に変化し（緑から赤）、b*値とL*値が大きくなること（鮮やかになる）を熟度の判定に利用している。

L*a*b*表色系による評価を広島県世羅大豊農園で育成された「幸水」梨に適用した。本研究では、熟度別の「幸水」梨の写真をスキャナーで取り込み、その後、画像処理ソフトPhotoshopを使用し、L*a*b*値を測定した。

2.1.2 分光光度計を用いた反射率の測定^{6)~8)}

「幸水」梨を収穫時と同じ条件である樹上で、熟練作業者の判断により未熟、適熟、過熟に分類した。この分類したサンプルを収穫後に分光光度計（日本分光製：V570）を用いて拡散反射スペクトルを測定した。測定サンプルとして、広島県世羅大豊農園で育成された幸水梨（各熟度5個ずつ）、神奈川県火山灰土壌で育成された幸水梨（各熟度3個ずつ）、神奈川県沖積土壌で育成された幸水梨（各熟度1個ずつ）、を使用した。測定部位は、Fig.2の図のよ

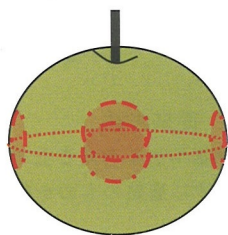


Fig. 2 Measurement spots.

うに、1サンプルにつき赤道上の4点の拡散反射スペクトル(400~1200 nm)を測定した。拡散反射率は、粗面の反射率を求めるときに使う手法であり、物体からの反射光を積分球を用いて受光する。測定後、各熟度で平均を取りグラフにまとめた。

2.2 従来方法での測定結果

2.2.1 L*a*b*表色系による評価結果

L*a*b*表色系による評価を「幸水」梨に適用した結果をTable1に示した。従来の報告と同様に、熟度が増していくに伴いa*値が-から+に変化し、b*値とL*値が大きくなるという結果を得ることができた。

Table1 The difference of maturity depends on the L*a*b* color system.

	L*	a*	b*
Immaturity	28.4	-2.1	17.5
Maturity	34.4	-0.7	23.8
Passed harvest time	41.6	2.3	19.4

2.2.2 分光光度計を用いた反射率の測定結果

育成環境の異なる「幸水」梨の表面反射スペクトルをFig.3~Fig.5に示した。

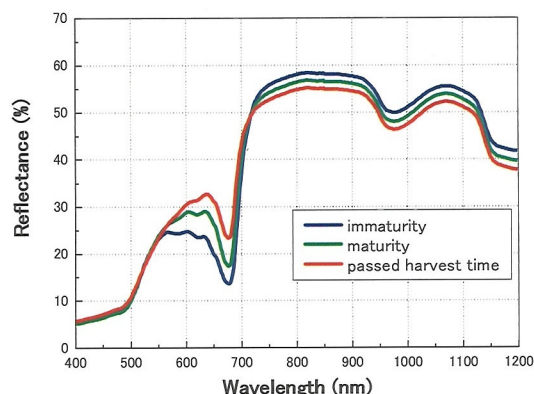


Fig.3 The difference of maturity depends on the spectral reflectivity. (place : Hiroshima)

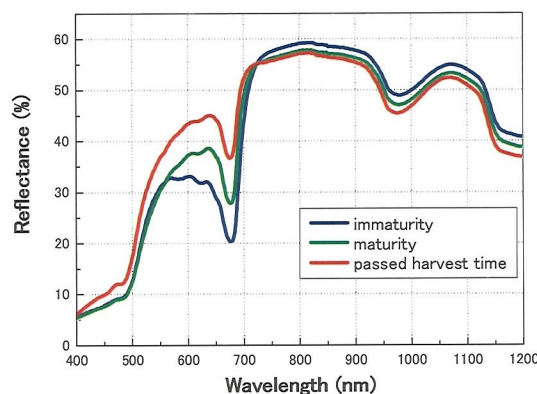


Fig.4 The difference of maturity depends on the spectral reflectivity. (place : Kanagawa , soil : volcanic ash soil)

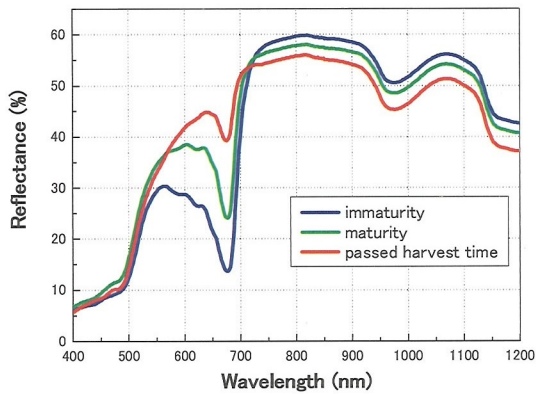


Fig.5 The difference of maturity depends on the spectral reflectivity. (place : Kanagawa , soil : alluvial soil)

育成環境が異なっても、500 nm から 600 nm にかけて反射率が増加し、クロロフィルの吸収によって 680 nm で反射率の減少が見られ、700 nm から再び上昇し始めるという傾向はどの育成環境でも同様に観測できた。しかし、土壌が異なると 500 nm 付近での反射率増加の傾きが多少異なっていた。この傾きの違いが土壌による地色の違いを反映している。近赤外領域で見られる吸収は糖によるものである。赤外線を利用した判別装置は、この糖の吸収の違いを利用している。

次に可視領域に注目してみると、熟度が増すごとに 550~650 nm の反射率が増加していることがわかる。この波長領域を色で表すと、黄緑色~黄色~橙色~赤色に対応している。特に、橙色から赤色にかけて熟度に対する反射率の変化が大きい。この結果は、L*a*b*表色系での評価結果と一致している。

土壌の違いは、果実の表面色が黒ずんだり、黄色みが強く見えたりする。しかし、基本的なスペクトルの特徴は変わらないことが測定より確認できた。

3. 本研究の評価方法⁹⁾

3.1 2波長を利用した評価方法

従来の色彩色差計や分光光度計を用いても、熟度の判別は可能であるが、装置が高価であることと、判別に時間がかかるという問題がある。これは圃場での使用には適さない。本研究では熟度の変化が反射率の違いとして顕著に表れている可視領域に注目した。Fig.3 の測定結果の 500~700 nm の領域を拡大したグラフを Fig.6 に示した。上に述べたように、550 nm より短波長では熟度による反射率の大きな違いは見られないが、620 nm

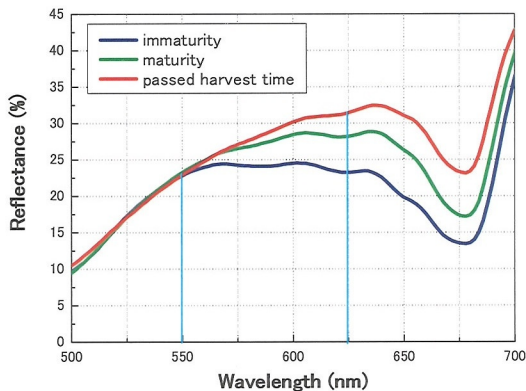


Fig.6 The difference of maturity depends on the spectral reflectivity. (Visible light region : 500 nm~700 nm)

付近では熟度が進むに従い反射率が大きくなっている。本研究はこの特徴的な2波長を用いて評価する。反射率の変化が小さい 550nm 付近の光強度と、反射率の変化の大きい 620 nm 付近の光強度の比を求め、熟度を数値化する方法を用いた。この方法は、全体の光量が変化しても2波長の強度比を取ることで、同一サンプルの場合、同じ値を示すという利点がある。

3.1.1 バンドパスフィルターを用いた2波長利用の評価方法

特定波長の反射光強度を測定するために、Fig.7 に示した分光特性を持つバンドパスフィルターを使用した。

測定には、実際の圃場において各バンドパスフィルターを光パワーメータ（アンリツ製：ML910A）に交互に装着し、梨からの反射光を測定した。計測時の条件は、バンドパスフィルターの違いだけで、他の計測条件は同じとした。また、各バンドパスフィルターの透過率の差を考慮して、測定値には補正を加えた。この補正は、2つのバンドパスフィルターの透過率差が10%ほどあるため、同じ透過率での測定となるように Or フィルターでの測定値に係数をかけて補正を行った。

測定サンプルには広島県世羅大豊農園で育成された「幸水」梨を使用した。前述の測定同様、熟練作業員によって判別された梨を測定した。ここでの各熟度は、収穫に適したものを適熟とし、適熟4日以上前のものを未熟、適熟1~2日前のものを未適とした。測定には未熟サンプル8個、未適サンプル12個、適熟サンプル14個を使用した。

同様の測定を室内で蛍光灯を光源として行った。サンプルには圃場での測定と同じ育成環境、同じ判断基準で判別された未熟サンプル(8個)、適熟サンプル(8個)の2種類に対して測定した。梨は収穫後、熟度は変わらないが果皮の色は保存環境によって変化してしまう。そのため実験室に持ち込む際、圃場での細かな判別を保持するのは困難であると考え、ここでは未熟、適熟と大きく分類したサンプルを使用した。

各サンプルの測定は梨の底部を3回測定し、この測定値の平均を各サンプルの反射強度とした。果実底部は果実側面と比べ太陽光による日焼けの影響が少なく、測定時に太陽光の影響を受けにくい。そのため圃場での測定には果実底部を測定した。また、作業員の目視による熟度判定を行う際にも底部の色が判断基準の一つとなっている。

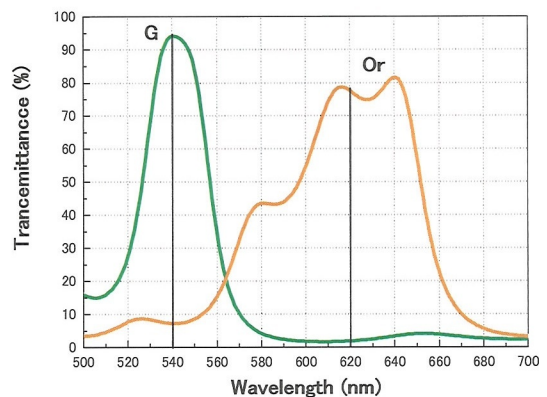


Fig.7 Spectral transmission of band-pass filter.

3.1.2 LED 光源を用いた 2 波長利用の評価方法

バンドパスフィルターの代わりに、Fig.8 に示した分光特性を持つ LED を使用した。

LED を用いることで、波長帯域の選択のために使用したバンドパスフィルターが必要なくなる。そのため装置化を考えたとき、低コスト化を実現でき、しかも、測定時の光量の安定性も良くなるという利点がある。試作した LED 光源は、Fig.9 のように受光部を中心に G 波長 LED と Or 波長 LED を交互に配置した構造をしている。受光器にはファイバー入力マルチチャンネル分光器 (Ocean Optics 製 : USB2000) を使用し、2 種類の LED で同時に梨を照射し、反射光強度を測定した。

測定には千葉県七豊園で育成された幸水梨を使用した。適熟サンプルと未熟サンプルに分類し、各サンプル 5 個ずつ測定を行った。

バンドパスフィルターを使用した測定同様に、測定値の平均値を各サンプルの測定結果とした。

なお、七豊園での果実の出荷時の判別基準が未熟、適熟の 2 つであったため、本研究のサンプルの分別を行う作業も、この 2 つの基準で分別を行った。このため本測定においては 2 つの熟度を測定した。

適熟状態よりも熟度の進んだものに関しては収穫する必要があるため、本研究では未熟と適熟との境界のデータが重要であると考えている。

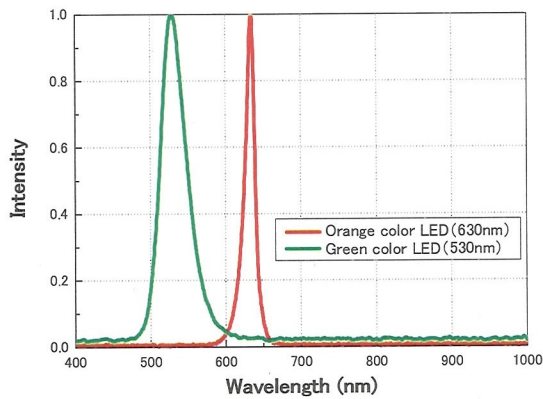


Fig.8 Spectral intensity of LED.

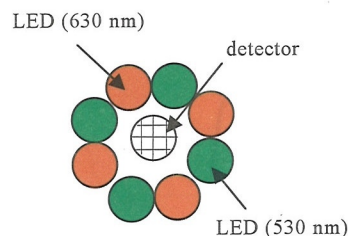


Fig.9 Layout drawing of LED

3.2 2 波長を利用した評価の測定結果

3.2.1 バンドパスフィルターを用いた 2 波長利用の評価結果

2 種類のバンドパスフィルターを用いて、それぞれの反射光強度をパワーメータで測定した。2 波長の測定値を用いて、(620 nm の反射強度) / (540 nm の反射強度) の値 (Or / G 比) を求めた。

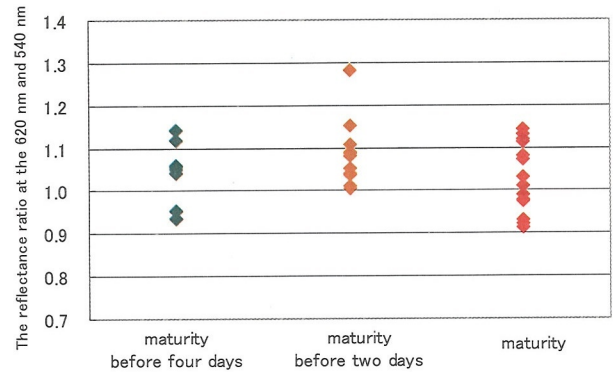


Fig.10 The reflectance ratio at two wavelengths in the visible light region. (place : the outdoors)
(by using band-pass filter)

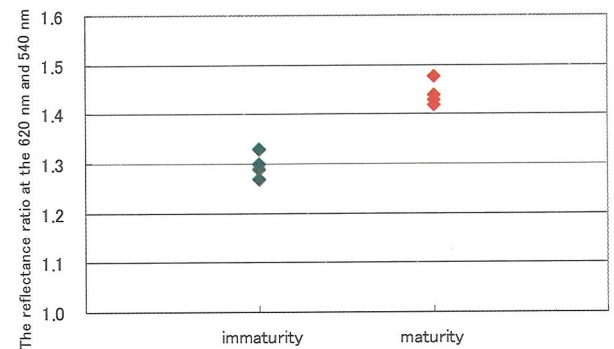


Fig.11 The reflectance ratio at two wavelengths in the visible light region. (place : the indoors)
(by using band-pass filter)

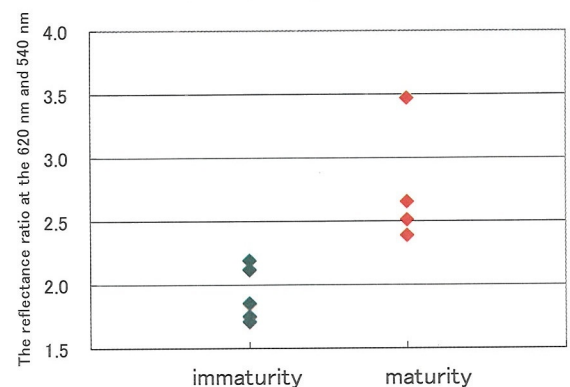


Fig.12 The reflectance ratio at two wavelengths in the visible light region. (place : the outdoors)
(by using LED)

圃場における測定結果を、Fig.10 に示した。Fig.10 の測定結果より、熟度が進むに従い、620 nm の反射強度が大きくなっているという傾向は見て取れるが、有意な差があるとは言えない。同様の測定を、室内において蛍光灯を光源として計測した。そ

の結果を Fig.11 に示した。結果より、室内で測定したほうが、熟度に対して Or/G 比は有意な差が認められた。

3.2.2 LED 光源を用いた 2 波長利用の評価結果

バンドパスフィルターを用いた測定と同様に、2 波長の強度比 (Or/G 比) を求め、Fig.12 に示した。圃場にてバンドパスフィルターを使って測定した結果と比較すると、熟度の差を数値として確認することができた。これは LED 光源を用いたことにより、安定した光量でサンプルに照射できたためと考えられる。

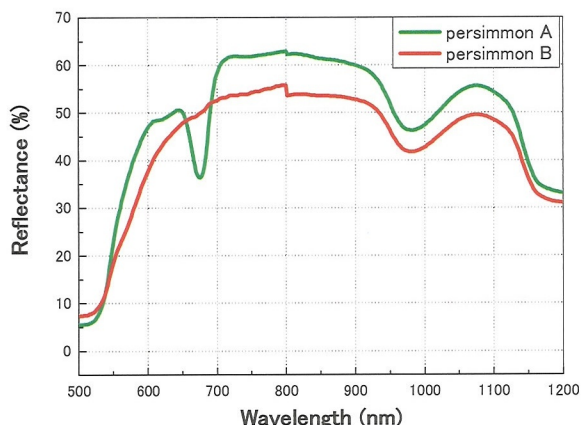


Fig.13 Spectral reflectivity of persimmon.

4. 考察

本研究では、「幸水」梨の分光測定結果より、特徴的な 2 波長を用いた熟度判別を試みた。バンドパスフィルターを用いた測定では、受光部が 1 つであるために、2 波長の反射強度を測定する際にフィルターを付け替える必要があった。圃場での測定は、太陽光を光源としているために、雲の動きや風による葉の動きで光量に変化してしまう。そのために、フィルターを交換する間に光量変化の影響を受けてしまい、Fig.10 のように熟度と数値に有意な差を見ることができなかつたと考えられる。測定場所を圃場から室内に、つまり光源を太陽光 (光量不安定) から蛍光灯 (光量安定) に替えて測定した結果を見ると、熟度を数値として判別できていることがわかる。このことより、特徴的な 2 波長を利用した熟度判別は可能であることがわかった。しかし、光源の問題を解決する必要がある。上述したように、判別装置は太陽光が降り注ぐ圃場にて使用する必要がある。そのために、太陽光の光量変化の影響を受けない測定方法が必要とされる。解決方法としては、1 つは 2 波長の反射強度の同時測定がある。3.1 でも述べたが、熟度によって、ほとんど反射率の変化がない 540nm を基準としているので、全体の光量が変化したとしても、2 波長の反射強度も同じように変化する。2 波長の強度比を求めることにより、光量変化の影響を受けることがなくなる。もう 1 つは、安定した光源を使用することである。室内で蛍光灯を光源とした測定でも明らかなように、光量が安定している環境では、2 波長の反射強度を同時に測定できなくても、熟度判別が可能である。

以上の点より、LED を光源として使用することが適切である

と考えられる。LED を光源として用いることにより、安定した光量を果実に照射することができ、携帯用の装置にするための小型化、低コスト化も実現できる。また太陽光は測定結果に大きな影響を与える。小型装置を製作する場合、受光部に太陽光が入射しないように装置の遮蔽が有効と考えられる。

本研究で試みた 2 波長を利用した熟度の判別方法は、梨以外の果実にも適用可能であると考えている。

食味の結果、甘かったものとそうでなかったもの 2 つの柿に対して分光測定を行った。その結果を Fig.13 に示した。この結果を見ると、梨の分光データと同様に、540nm 付近では個体の違いによる反射率の大きな違いは見られなかった。食味の結果甘いと感じた柿 B では、梨や柿 A で見られた 680nm 付近でのクロロフィルの吸収は観測できなかった。柿の場合、熟度が進むと完全にクロロフィルの吸収がなくなるようであった。このことから、測定に使用する LED 光源の波長をクロロフィルの吸収波長に変えることで、柿に対しても 2 波長を利用した熟度判別は可能であると考えられる。全ての農作物は、熟度が進むとクロロフィルの吸収が小さくなる傾向があることから、測定波長に 680nm 付近の波長を使うことで、2 波長を利用した熟度判別は幅広く利用できると考えている。

2 波長を利用することで熟度を判別できることから、収穫時に利用するだけでなく、追熟する農作物については、出荷までの品質管理に利用できると考えている。

5. まとめ

梨表面の分光測定より得られたデータを基に、表面色の特徴を表している 2 つの波長を決定した。そしてその 2 つの波長を利用することで熟度の判別が可能であることがわかった。本手法は梨以外にも、柿などの、熟度の進行によって表面色が変化する農作物全般に使える手法であると考えられる。

携帯型の判別器の実現には、LED を光源として用いることが最適であると考えられる。農作物の表面色の特徴を表す波長を選択することが容易であるし、装置の低コスト化にもつながるからである。そして、LED を光源とすることにより、収穫時の太陽光 (光源) の変化を受けにくくなる。

6. 謝辞

測定に協力していただいた、広島県世羅大豊農園、広島農業普及センター、広島県立農業技術センター、神奈川県農業研究所、LED を提供していただいた岩崎電機の方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) 小島孝之、井上康、田中宗浩:「近赤外分光法による生育肥大中および成熟ナシ果実の糖度測定」、佐賀大学農学部彙報、Vol.77、pp.1-10(1994).
- 2) 末次信行、高柳行雄:「カラーチャートによるニホンナシ (幸水) の熟度判定」、佐賀県果樹試験場研究報告、Vol.8、pp.129-133 (1983).
- 3) 川村恒夫:「赤ナシ系果実『豊水』の熟度と表面色の関係」、農作業研究、Vol.35、No.1、pp.33-38 (2000).
- 4) 毛利健太郎:「果実の非破壊品質評価」、岡山大学農学学位

報告、Vol.92、pp.111-115 (2003).

- 5) L*a*b*表色系 JIS (JISZ8729).
- 6) 工藤岳史、室谷裕志、羽島正紘、鈴木綜太：「梨の表面色と熟度の相関」、第 65 回応用物理学会学術講演会講演予稿集、第 3 分冊、p894 (2004).
- 7) 羽島正紘、鈴木綜太、室谷裕志：「幸水梨の表面色測定」、防衛医科大学校進学課程研究紀要、Vol.27、pp.121 - 130 (2004).
- 8) 羽島正紘、室谷裕志、鈴木綜太：「ナシ『幸水』の分光反射率」、防衛医科大学校進学課程研究紀要、Vol.28、pp.53-64 (2005).
- 9) 室谷裕志 他：「時代を先取りする先端技術 LED の農林水産分野への応用」、社会法人農業電化協会、pp.101-112 (2006).