

果物の非破壊品質評価

毛利 建太郎

(農業生産システム学講座)

Quality Evaluation by Non-Destructive Measurement in Fruit

Kentaro Mohri

(Department of Agricultural Production Systems)

It is important to classify fruits according to their quality in post harvest, but many kinds of fruit are classified only by their size or shape.

In this paper, an investigation to evaluate maturity using the skin color of fruit and to predict the sugar content of a fruit directly by near-infrared spectroscopy is described.

The following results were obtained,

- 1. It was established that the fruit maturity can be found by expressing the changes of skin color as the values of L, a and b in Lab color system.**
- 2. It was clear that the sugar content of a fruit can be predicted with a calibration equipment to be determined by multiple regressions analysis from the relation between the absorption of light rays which related the sugar in the wavelength of near infrared band and the sugar content of fruit which was measured by destructive method.**

Key words : quality evaluation, classification, maturity, sugar content

I 緒 言

農産物の中でもっとも市場性の高い果物は、その品質管理が重要視され選果という操作を経て品質の評価が行われ、価値が付けられて販売がなされてきた。農産物は自然が作り出すために工業製品と違って、高い品質評価で品揃えすることはむづかしく、収穫された産物の中から選び出す方法で品質を揃えさらに品質の高いもの、そうでないもの、というように選別することによって品質管理が行われてきた。

選別する過程で品質評価の判断のもとになるのが、それぞれの農産物がもつ物性値である。特に果物は一個一個が商品としての性格を持っており品質の評価は非破壊で行われ、全数品質評価されることが望まれる。これまで外観から熟度をもとに間接的に品質を評価することは可能であったが、内部品質たとえば甘さ、酸っぱさなどの程度を知るには破壊する方法しかなく、破壊するとそのものは商品価値を失うことになり、全数検査することなどこれまでは不可能であった。

ここでは非破壊で果物の品質を評価する方法について研究を重ねてきたものの中から、果物の表面色(果皮色)をみて熟度を間接的に判断する方法として、果皮色の変化を色彩的に Lab 表色系で表し、L, a, b の値と果物

の熟度との関係を求める。また、直接的な方法として近赤外分光分析法による果物の内部成分、特に近赤外域の波長帯で、糖による吸収がある波長での果物の分光反射率を利用して糖度を求める方法について検討する。

II 果皮色による品質評価

果物は収穫するとき、農家では果実の外観から、大きさ、形、果皮色などを見て収穫適期の判断をしている。果実が未熟から適熟さらに完熟へと進むにしたがってその果物特有の果皮色を示すようになる。果物の熟度が判断できる人は、この完熟期に達したときの果物の果皮色を経験的に覚えていて、果実が収穫適期にあることを果皮色から判断していると考えられる。

そこで、果物の果皮色を色彩色差計で測定し、それを色彩を表す一つの表色系で表すことによって客観的に果皮色をその表色系の値で表し、その変化を求めて果物の熟度との関連について検討した¹⁾。

1. 色彩表示と果皮色

人間が感覚的に果物の果皮色を見て果実の熟度を判定している方法は、可視光の波長域にある光が果物の表面で反射し返ってきた光が人間の目に入って知覚として果

皮色を知る。実験ではこの方法で果実の果皮色を色彩色差計で一つの色として評価し、一つの表色系の数値として表して変化を見ると同時に完熟期の果皮色を知ろうとするものである。

(1) 色の表現法

色は人にとって一つの感覚であり、ある色を一人の人が描くイメージは人それぞれによって異なる。そこで、色を客観的に表す方法として色の3属性(明度、彩度および色相)が考えられ、各種表色系が考えられた。ここでは Lab 表色系にしたがって果皮色を表現し果実の果皮色と熟度との関係を調べる。

Lab 表色系は、L 値で明度を表し、a 値と b 値は色相を表し、 $(a^2 + b^2)^{1/2}$ は彩度を表すとされている。それらをまとめたものを Fig. 1 に示す。

L 値は明るさの程度を表し値が大きいと明るいことを表す。a 値は赤味とみどり味の強さを表し、プラス側で値が大きいと赤味が強く、マイナス側で値が大きいとみどり味が強い、また、b 値は黄色味と青味の強さを表し、プラス側で値が大きくと黄色味が強く、マイナス側で値が大きくと青味が強いことを表す。彩度 $(a^2 + b^2)^{1/2}$ は、a 値および b 値で表された色が原点から離れている距離を表し、色立体では原点から離れるほど彩度が大きいと言われるから、 $(a^2 + b^2)^{1/2}$ の値が大きいくほどその色は鮮やかである。これらのことを念頭において果実の果皮色を検討する。

(2) 果皮色の測定法

収穫前の果実は樹上にありその果皮色を測定することは困難が伴うが、携帯型の色彩色差計で測定部を果実表面に接触させて果皮色を測定した。供試した果物は、大阪府立大学農学部附属農場果樹園で栽培されている温州ミカン(興津早生)である。

供試温州ミカンは果実の着色が始まる10月初めに樹上の果実から15果を選び、供試果には番号と果皮色を測定する場所に印を付けた。特に果皮色は1果ごとに、果実

の果頂部、果柄に近い部分(果こう部とする)及び赤道部に分けて測定した。

色彩色差計で果皮色を測定した結果は、みどり味および赤味が a 値の変化で、黄色味が b 値の変化でよくわかるために、Lab 表色系で果皮色を表した。

(3) 果実成熟期の果皮色

成熟に伴う果実の果皮色の変化を色彩色差計で測定した結果を Fig. 2 に示す。図中で比較的着色の進んでいる果実(図中(a))と遅れている果実(図中(b))について、果皮色の変化を L, a, b および $(a^2 + b^2)^{1/2}$ の値で表した。

(a)の果実は果皮色の測定を開始した頃には着色がある程度進み黄色に色づいていたが、(b)の果実は果皮色にみどり味を少し残していた。着色の進んでいた果実は、測定日を追っていくと明度、彩度に大きい変化はみられないが、熟度が進むにつれて a 値が大きくなることで赤味が増し、1果の中でも色づくことが遅れる果こう部の赤味に変化していく様子がよくわかる。着色の遅れていた果実は、果頂部、赤道部および果こう部の色の変化が、a 値および b 値変化から見られ、果頂部、赤道部および果こう部の順に、果皮色は黄色味が強くなりその中に赤味が増していき温州ミカン特有の完熟期の色に色づくと考えられ、最終的には果頂部、赤道部および果こう部すべてが同じ色に色づくことがわかった。

また、a 値と b 値から $\tan \theta = b/a$ を計算し θ を度数で表すと色相を表現できる。 θ が 20° で赤色を、 90° で黄色を、 180° でみどり色をそして 270° で青色を表す。この色相をたて軸にとって熟度が進むことに伴う果皮色の変化をみると Fig. 3 のようになる。

この場合も着色の進んでいる果実と遅れている果実とは違いがみられ、着色の進んでいる果実は黄色味から

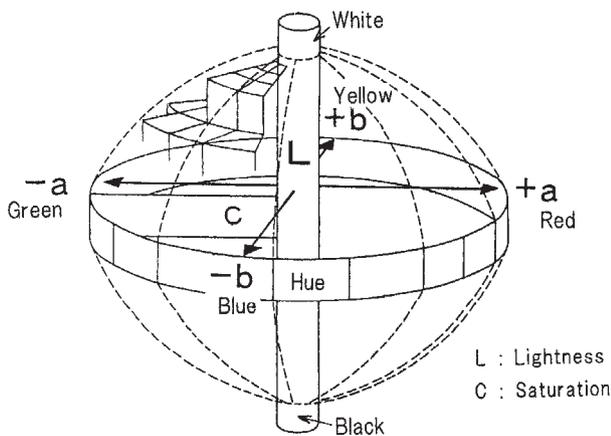


Fig. 1 Color solid of Lab color system.

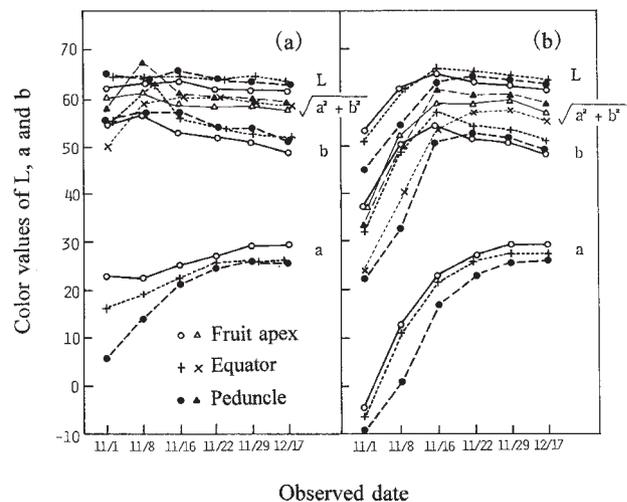


Fig. 2 Changes of color values L, a and b with observation dates in Satsuma mandarin.

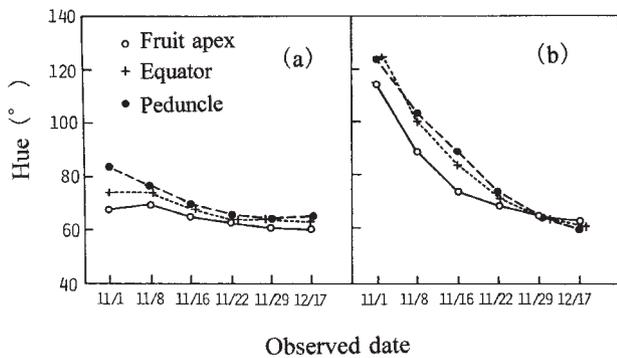


Fig. 3 Changes of hue with observation dates in Satsuma mandarin.

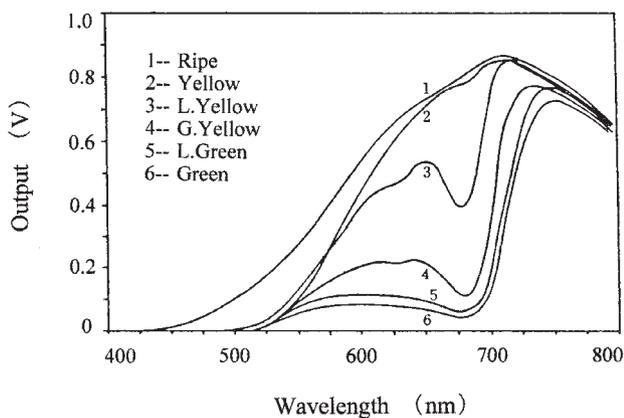


Fig. 4 Spectral reflectance of skin color in Satsuma mandarin.

オレンジ色に変化しているが、遅れている果実は黄みどり色から黄色になりオレンジ色に色づいていく様子がみられる。供試した温州ミカンには、11月下旬から12月上旬にかけてオレンジ色に色づき収穫期に達することを示した。

温州ミカンの果皮は、幼果の頃にはクロロフィルが多く濃いミドリ色をしているが、気温の低下とともにクロロフィルが消失し、果皮に含まれる黄色の色素が発色するようになり、さらに熟度が進むと黄色の中に赤色の色素が発色するようになる。収穫期になると黄色の中に赤味を帯びるようになって、完熟期にある温州ミカン特有の果皮色になる。

さらに、可視域で波長400nm から800nm の間でのミカンの分光反射特性をみると、Fig. 4 のようになる²⁾。未熟果はみどり色であり、未熟の緑果にはクロロフィルが存在し、熟度が進むにしたがってみどり色が退色して黄色あるいはオレンジ色へと変化していく。このことが Fig. 4 からみられ、未熟果ではクロロフィル吸収帯があるとされる波長670~680nm 付近で反射率が小さく、その吸収の度合いが徐々に減少して反射率が大きくなり、熟度

が進んだものは吸収が少なくなり、逆に反射率が大きくなるという果皮色の変化がわかる。

温州ミカンは樹上における果実の位置によって、果実の果皮色の進む程度が異なり、その差が着色が始まる頃から表れた。しかし、最終的にはどの果実も温州ミカン特有の果皮色に着色し、さらに果実全体が同じ色になるように着色した。果皮色の明度は60前後で明るい色であり、彩度も同様に鮮やかな色であると考えられる。

III 近赤外分光分析法による果実の品質評価

近年、青果物の分野で内部成分を非破壊で定量的に求める方法が開発されて、果物の内部品質の評価に利用されている。この方法は近赤外域の電磁波（光）を果実表面に照射すると、表面で反射してくる光は果皮表面の色彩情報を持ってくるが、一部近赤外域にある波長の光は果皮表面から少し内部に侵入し、内部拡散反射してくるものがあり、この光が果実内部の成分情報を持ってくると考えられている³⁾。このことを利用して内部成分の定量的測定を行おうとするのが、青果物における近赤外分光分析法である。

ここでは高級ブドウといわれているマスカット・オブ・アレキサンドリア（以下マスカットと略称する）とニューピオーネ（以下ピオーネと略称する）について可視域から近赤外域の広い範囲の波長をもつ光を照射したときの物体による反射と吸収のスペクトルを求めて、同時に果糖、ブドウ糖およびショ糖の吸収スペクトルを求め、これらスペクトルの特徴部分に注目して、近赤外分光分析法によるブドウ果実の糖度を推定する方法について検討した⁴⁾。

1. 供試材料と品質の評価方法

高級ブドウとして市場性の高いものは、その品質が管理され保証されることが望まれる。ブドウの品質（糖度）を非破壊で求めるには、果粒から内部拡散反射してくる光を分光分析し同時に果粒表面からの反射光も測定して広い波長域でスペクトルを求め、反射と吸収を示す特徴的な波長における吸光度と糖度との関連からブドウの糖度を推定しようとするものである。

供試材料はブドウの房から一粒づつ果粒を外し果粒単位で、290nm から2,500nm までの波長範囲で分光反射率を自記分光光度計で求め、そのスペクトルから糖分と関連する波長帯の分光反射率および吸光度から重回帰分析で検量線を求め、糖度が未知の果粒について選択された波長帯の分光反射率および吸光度から、検量線を利用して糖度を推定した。

2. ブドウの分光反射特性

(1) マスカットの分光反射特性

波長範囲290nm から2,500nm におけるマスカット果粒の分光反射特性の1例を Fig. 5 に示す。供試したブドウは果物店より購入したものと生産農家より入手したも

のをを使った。

マスカットは全波長域で分光反射率が小さい。これはブドウ果実の特徴である果肉が多汁質で吸収あるいは透過が多いためであると考えられる。一方、可視域でみどり色の果皮色であることからその波長付近で反射率が大きくなり、670nm 辺りの波長帯で吸収が起こり、果皮色の特徴とクロロフィルによる反射率の変化がマスカットの分光反射特性の特徴として表れている。

(2) ピオーネの分光反射特性

ピオーネについても同様に、波長範囲290nm から2,500nm における果粒の分光反射特性を求めた結果の1例を Fig. 6 に示す。このブドウは黒色系の代表品種であり、未熟果はみどり色であるが熟度が進むにしたがって黒色系色素が発色するようになり、ピオーネ特有の果皮色に着色する。供試材料は果物店より購入したものと生産農家より入手したのものを使った。ピオーネは熟度が進むと果皮色に変化するが、可視域の波長では赤から近赤外域で反射率が大きくなり、その分光反射特性は黒色のブドウであることの特徴を表している。

(3) 果糖、ブドウ糖およびショ糖の分光反射特性

ブドウには各種の糖が含まれており、ここでは果糖、ブドウ糖およびショ糖を石英ガラスの試料セルに詰めてブドウ果粒と同様に分光反射特性を求め、同時にマスカットとピオーネの分光反射特性を加えて示すと Fig. 7 のようになる。

それぞれの糖は粉末状のものであるからブドウ果粒に比べて反射率は大きく表れた。特徴として近赤外域で幾つかの吸収による谷がみられ、これはブドウ糖も果糖もショ糖もほぼ同じ波長帯で表れている。また、ブドウ果粒においても各糖類が吸収を示した波長帯で谷が生じている。したがって、これらは糖による吸収がある波長帯と考えられる。そこで、これらの波長帯における分光反射率および吸光度を使って重回帰分析を行い、ブドウ果粒の糖度を推定するための検量線を求めた。

3. ブドウ糖度の推定法

マスカットおよびピオーネを7~8房用意し、それらの房から果粒を1粒ずつ外し、100粒を用意した。その100粒を2分して重回帰式(検量線)を作成するための試料と糖度が未知の果粒とし検量線で糖度を推定し、検量線を検証するための試料にした。

試料の果粒1粒ずつ分光光度計で分光反射特性を求め、さきの糖の吸収がある波長帯の分光反射率を得て、同時にその果粒を破壊して屈折糖度計で糖度(Brix%)を測定した。重回帰分析の目的関数は糖度であり、説明変数は糖の吸収が起こるとされる波長帯の反射率および吸光度である。説明変数として考えられる波長帯は、果糖では12波長、ブドウ糖では14波長、ショ糖でも14波長が選出された。ここで12波長あるいは14波長で糖度の推定を行うのが望ましいが、実用性を考慮して説明変数の数

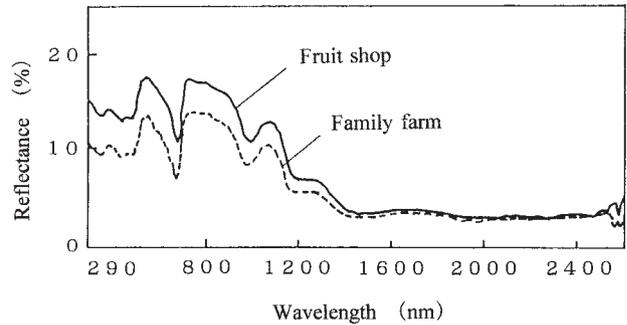


Fig. 5 Spectral reflectance of grape berry (Muscat).

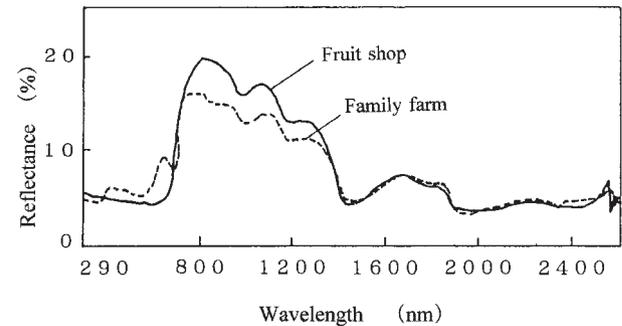


Fig. 6 Spectral reflectance of grape berry (Pione).

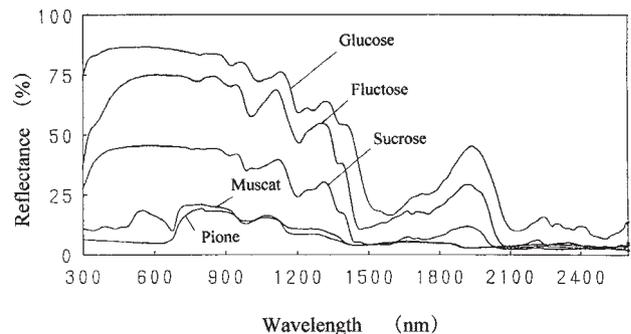


Fig. 7 Spectral reflectance of glucose, fructose and sucrose.

を少なくする方法をとり、5波長で総当たり法により相関係数の大きいものを採用して検量線を確定することにした。

4. 糖度の推定値と実測値の相関

(1) マスカット糖度の推定

ここではショ糖の吸収帯を示す波長の中から5波長を選び、1992年の分光反射率のデータを使って検量線を作成し、もう一つのグループについて糖度の推定を行い、同じ検量線で1993年の試料を加えたデータについても糖度の推定を行った。1992年の試料は果物店から購入したものであり、1993年の試料は果物店から購入したものと生産農家より求めたものである。糖度の推定に使った試

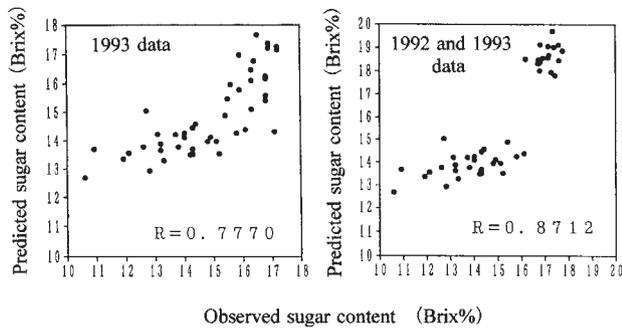


Fig. 8 Correlation between predicted and observed sugar content (Muscat).

料は分光反射特性を求め糖度の推定を行った後、破壊して屈折糖度計で糖度を測定しそれを実測値とし、検量線による推定値との間で相関を取り相関係数を求めた。その結果を Fig. 8 に示す。求められた相関係数から判断すると、推定した糖度は実測糖度と相関があると考えられる。さらに、単年度のデータによる結果より2年にわたって得た分光反射率より求めた結果の方が相関係数が大きくなった。これは再現性の問題等から好ましい結果と考えられる。

(2) ピオーネの糖度推定

マスカット糖度の推定と同様に、ショ糖の吸収帯を示す波長の中から5波長を選び1992年の分光反射率のデータを使って検量線を作成し、もう一方のグループについて果粒の糖度を推定し、さらに1993年の試料のデータを加えたものについても糖度の推定を行った。1992年の試料は果物店から購入したものであり、1993年の試料は果物店から購入したものと生産農家から入手したものである。マスカットと同様に分光反射特性を測定し糖度を推定した後、果粒は破壊して糖度を実測し、実測値と推定値とで相関をとり、その結果を Fig. 9 に示す。ピオーネの場合はマスカットの場合よりも相関係数が高くなり、このような方法で糖度の推定を行った場合、高い精度で糖度の推定ができ、ブドウの品質管理が可能であると考えられる。

IV 結 言

果物については古くから果皮色を見て熟度を知り、間接的においしい時期、食べ頃などを判定していたが、こ

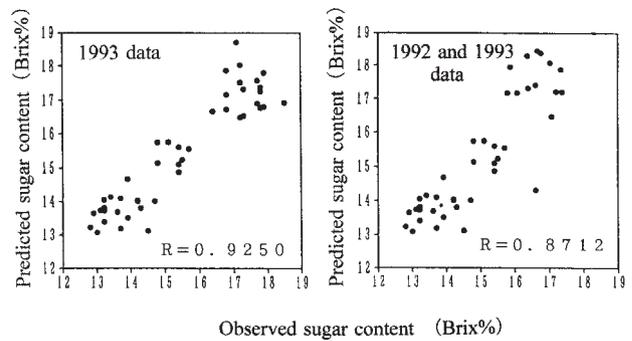


Fig. 9 Correlation between predicted and observed sugar content (Pione).

の果皮色を物理的に測定し表色系の数値として表し選別に応用することで、選果する段階で全数について品質を知ることによる品質管理が行える。すなわち、果物1個1個を非破壊で全数検査して品質を評価し、品質管理することが可能になった。

その結果、熟度が進むにつれて果皮色に変化する果物は、物体色を測定する方法でその果皮色を測定し表色系により表し、数値化することで成熟していく段階ごとの果皮色の変化がわかる。温州ミカンでは、Lab 表色系のa値に注目すると、数値はみどりから赤に関連する色を表すために、その熟度に合わせてa値が変化する。また、それぞれの熟度ごとにa値を知ることによって逆に熟度の判定に利用できる。

近年盛んになってきた近赤外分光分析法によると、直接果物の内部成分が測定できる技術が確立し、糖度と酸度が推定できる。ここでは、高級ブドウについて実験し、ブドウ果粒の分光反射特性から糖度を推定する試みを行った。マスカットとピオーネについては糖度の推定ができることを確かめた。

引用文献

- 1) 梅田重夫, 毛利建太郎: 農産物の光学的特性. 農産物性研究 第2集, pp. 112-134, 農業機械学会 (1985)
- 2) Searcy S. W. and J.F.Ried: Machines see Red and so much more. J. of ASAE, 70(7), 10-15 (1989)
- 3) 山口富士夫: 物体の表面近傍における物理学. 機械の研究, 38(5), 651 (1986)
- 4) 毛利建太郎, 岩尾俊男: 青果物の品質とその評価. 農産物性研究 第5集, pp. 55-74, 農業機械学会 (1995)