

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20700581

研究課題名（和文） 近赤外光を用いた野菜、果実の成分分析画像解析法の開発

研究課題名（英文） Development of componential distribution analysis of vegetable and fruit by using of near infrared ray image

研究代表者 加藤邦人（KATO KUNIHITO）

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号：70283281

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、ある食品が持つ分光反射特性と、計測対象とする含有成分の吸光度特性に基づき、高解像度に含有成分の分布を視覚化、評価する手法を確立した。本手法では近赤外領域での光の吸収、反射特性を用いるため、個々の食品が持つ色の微妙な違いに影響されない。また従来の脂肪、筋肉などといった大まかな画像評価とは異なり、脂肪酸、アミノ酸、糖質など、いわゆる食品のおいしさに関連する成分を評価することが可能である。さらに、一般的な吸光度測定と比べ、少ない破壊で、かつ高速であり、また複数の成分分布を一度の観測から得ることが可能となった。

## 研究成果の概要（英文）：

The components of the food related to the “deliciousness” are usually evaluated by the componential analysis. Component content and the kind of the component in the food are measured by this analysis. However, componential analysis is not able to analyze detailed measurement, and it needs long time to measure. We researched a method to measure two-dimensional distribution of the component in the food by using the near infrared ray (IR) image. An advantage of our method is to be able to make a visualized image of invisible components, because the component content is measured by taking subtraction of two wavelength of near IR light. Many components of the food have characteristics in the range of IR. In this research, we describe a method to measure the component of the food by using near IR image processing, and we researched application to vestibules and fruits.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：画像処理・コンピュータビジョン

科研費の分科・細目：生活科学・食生活学

キーワード：食品画像処理、成分分析、近赤外画像、野菜・果実、分布画像

## 1. 研究開始当初の背景

調理科学では分光光度計による食品の成分分析法は一般的な方法である。しかしなが

ら、これは最大吸収帯から食品のある一部に含まれる物質を特定する一次元的計測である。

また、成分分析手法には、(1)測定を行う前に酸分析など前処理などを行う必要があり時間を必要とする。(2)測定のためにある一定量切り取り、それをホモジナイズしてサンプルとするため、細かな分布解析を行うには煩雑な作業となる。(3)複数の成分の測定を行うためには(1)(2)の作業が成分毎に必要となる。という問題点がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、野菜、果実に含まれる糖、酸、水、色素等で複合的に決定される分光反射特性に基づき、その食品中の分布、量を視覚化することを可能とする。これにより食品の成分分布という二次元計測を可能とするものである。

これにより、サンプルを切り取る必要もなく、また高解像度で、かつ短時間の処理で成分分布を知ることができる。また、成分に合わせた波長を選択することにより各種成分の検出が可能となるため、一度画像を取得する作業のみで複数成分の分析が可能となる。

## 3. 研究の方法

本手法では、以下のような処理手順により最終的に食品に含まれる成分含有量の分布画像を作成する。この処理手順を図 1 に示す。

まず、本手法では色素、酸、糖、水分などの特有の成分に対して特徴的な光の吸収帯が観察できる近赤外領域を使用する。これには、近赤外領域まで観測感度がある高感度カメラと、透過する光の波長を任意に変更可能なチューナブルフィルタを用いて画像を取得した。

そのために、まずカメラの CCD 感度、チューナブルフィルタの透過率の違い、また光源特性や照明むらを均一にするためにキャリブレーションを行う。

続いて、計測対象食品から 650nm から 1,100nm の間の近赤外領域での分光反射特性を得る。これによりその対象がある波長でどの程度光を反射するか、言い換えればどの程度吸収するかの特性を得る。

一方、計測対象とする物質の吸光度特性を得る。吸光度特性は、計測対象の標準物質を用い、650nm から 1,100nm の間で波長を変えながら、吸光度計で観測される各波長の吸光度から得ることができる。吸光度特性は一度その物質の吸光度特性を知ればよいため、観測食品が変わっても再度計測する必要はないが、本稿ではその方法も示す。

次に、ここで得られた吸光度特性より最も特徴的に光を吸収する波長を決定する。食品中の計測対象物質が近赤外光を吸収するため、この物質が計測可能であれば分光反射特性でも光の反射がその波長付近で少なくなるは

ずである。最大吸収波長を特定できれば、その波長で観測した画像と、それに最も相反する波長で観測された画像との間で差分を行う。これにより相対的な計測物質の含有量を得る。ここまでで、食品中の観測成分の分布画像を得ることができる。

しかし、ここで得られる成分の分布は相対量であり、絶対量ではない。そこで、計測対象からいくつかの領域をサンプリングし、成分分析を行うことでその領域に含まれる計測対象物質の含有量を計測する。このとき、サンプリング領域が画像中の領域と対応が取れていれば、含有量と先に得られた差分値の相関を調べることで、相対的分布画像を絶対的分布としての成分分布画像として変換することができる。

計測システムとして、今回は図 2 に示す近赤外領域まで CCD 感度を持った高感度カメラ(Apogee 社製, U260) で撮影を行った。本カメラは 16bit 濃淡画像(濃淡値 0~65,536), 画像サイズ 512×512 を取得することができる。また、レンズ前には 650nm から 1,100nm までの間でバンドパスフィルタの波長を変更可能なチューナブルフィルタ(C.R.I 社製, 50989)を装着した。本チューナブルフィルタの透過帯域を 650nm から 1,100nm まで 2nm ステップで変更し、それぞれの波長において計 226 枚の画像を取得する。

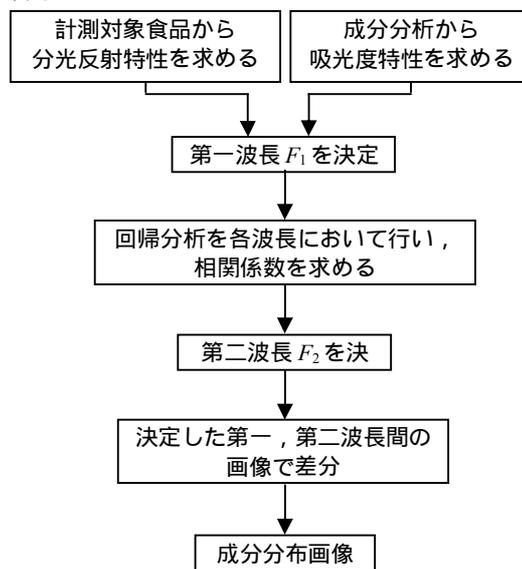


図 1 Flow of the making component distribution image



図 2 Apogee U260 and C.R.I 50989

分光反射特性は、物質がある波長の光をどのように吸収、反射する特性を持つかを示す。これは、物質に含まれる様々な成分により決定される。糖、アミノ酸、脂肪酸、水分などの食品のおいしさに関連する成分の多くは、不可視領域において特徴的な吸収帯を持つものが多い。本手法では食品の近赤外領域での分光反射特性から、計測対象物質の光の吸収度合いを判定する。

分光反射特性は、キャリブレーションを行った後、得られた各波長での露光時間  $T_n$  を用いて波長  $n$  の標準反射板、及び計測対象食品の画像を取得し、その比より得ることができる。これを式(1)に示す。分光反射特性  $Re(n)$  は各波長  $n$  での反射率(%),  $On, Sn$  はそれぞれ対象物、標準反射板の画像全体の平均画素値である。先のキャリブレーションにて波長  $n$  のときの標準反射板の平均濃度値  $Sn$  は  $Sn = V$  としているため、観測された画像の平均濃度値  $On$  を正規化していることと同義である。従って、対象物が波長毎に返す光量が求められる。

$$R_e(n) = \frac{O_n}{S_n} \times 100(\%) \quad (1)$$

計測対象物質がある波長 F1 で光を吸収することが確認できれば、その波長で得られた画像と、それ以外の波長 F2 で得られた画像との差分を行うことで光の吸収度合いを知ることができる。すなわち、計測対象物質が多く含まれるほど波長 F1 の光が吸収されるため、計測対象物質の含有量は分光反射特性  $Re(n)$  上の F1, F2 の 2 点間での傾き量に比例するはずである。

ここで問題となるのは、計測対象物質が最も特徴を持つ最大吸収波長 F1 を決定すること、光の吸収量、すなわち差分値を最もよく求めることができる波長 F2 を決定することにある。そこで、先に求めた分光反射特性  $Re(n)$  と、計測対象物質の成分分析から得られた吸光度特性  $A(n)$  から F1 と F2 を選択する。

吸光度特性  $A(n)$  は、計測対象物質の標準物質を用い各波長  $n$  での吸収度合いを計測したものである。この吸光度特性は物質に対して固有のため、計測対象食品が変わっても再度計測する必要はなく、一般には既知である。今回は 650nm~1,100nm までの間の詳細な吸光度を知るためにあえて計測対象物質に対し吸光度計測を行った。これにより求めた最大吸収波長を F1 として決定した。

次に、F1 との差をとることで最も吸収度を得ることができる F2 を決定する。これは吸光度特性  $A(n)$  から逆に最も光を吸収しない波長を F2 として決定してもよい。また、今回はより精度を高めるため、計測対象食品から数ヶ所の領域をサンプリングして成分分析を行い、各サンプル内に含まれる計測対象物質の含有

量を計測し、各波長 F<sub>n</sub> と F1 とのサンプリング箇所に対応する画像領域の平均差分値との相関から、最も高い相関をとる波長を F2 として決定した。すなわち、ある程度の領域内に含まれる物質の実際の量と、対応する画像領域内の差分値の平均の相関値が高くなる波長が最も吸収度を表すとした。この方法は差分値に対応する含有量が等しいと仮定したものである。

相関係数  $R$  は式(2), (3), (4), (5)に示す回帰分析を用いて算出した。回帰分析では、サンプリング領域に対応する画像領域の平均差分値と、サンプリングの成分分析により得られた含有量のそれぞれの平均  $f, g$ , 標準偏差  $\sigma_f, \sigma_g$ , 偏差  $d_f, d_g$  を出すことで相関係数  $R$  を求める。

ここで、 $s$  をそれぞれのサンプル数、 $f_i$  は対応する画像領域の平均差分値の標本、 $g_i$  は成分分析により得られた含有量の標本とする。また、 $\sigma_f$  を平均差分値の標準偏差、 $\sigma_g$  を成分分析により得られた含有量の標準偏差、 $d_f$  を平均差分値の偏差、 $d_g$  を含有量の偏差、 $\sigma_f$  を平均差分値の標準偏差、 $\sigma_g$  を含有量の標準偏差とする。

$$\bar{f} = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s f_i \quad \bar{g} = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s g_i \quad (2)$$

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{s} \sum_{i=1}^s (f_i - \bar{f})^2} \quad \sigma_g = \sqrt{\frac{1}{s} \sum_{i=1}^s (g_i - \bar{g})^2} \quad (3)$$

$$R = \frac{\overline{d_{fg}}}{\sigma_f \times \sigma_g} \quad \text{ただし} \quad \overline{d_{fg}} = \sum_{i=0}^s \frac{d_{fi} \times d_{gi}}{s} \quad (4)$$

$$d_{fi} = f_i - \bar{f} \quad d_{gi} = g_i - \bar{g} \quad (5)$$

実際の撮影では、照明むらやフィルタの不均一等を補正するため、画像全体に輝度の正規化を行った後に波長 F1, F2 での画像間で差分を行う必要がある。

輝度むら補正は式(6)に示すように、ある波長  $n$  の画像に対し、標準反射板画像の中心画素の値を基準点  $Pc_n$  とし、標準反射板上のそれ以外の画素  $P_n(x,y)$  との割合を求め、その割合を対象物の画素  $On(x,y)$  に乗算し、補正後の値  $O'n(x,y)$  を導く。

$$O'_n(x,y) = \frac{Pc_n}{S_n(x,y)} \times O_n(x,y) \quad (6)$$

以上により吸収度画像が得ることができ、この吸収度画像は成分含有量に比例し光が吸収される度合いを表したものである。これでも成分の分布画像を得ることができるが、吸収度は相対的な値であり、絶対的な成分量の分

布を示すものではない。そこで、先のサンプリングし成分分析を行った領域における成分の含有量と、そのサンプリング領域に対応する画像領域の相関から、吸収度を絶対値である含有量に変換を行う。

変換式は式(7)、(8)を用い、傾きを  $a$ 、切片を  $b$  とする一次関数で表される変換式とした。ここで、 $\sigma_f$  はサンプリング領域に対応する画像領域の平均差分値の標準偏差、 $\sigma_g$  はサンプリングの成分分析により得られた含有量の標準偏差、 $R$  は相関係数を示す、 $\bar{f}$  は平均差分値の平均、 $\bar{g}$  は含有量の平均である。

$$b = R \times \frac{\sigma_g}{\sigma_f} \quad (7)$$

$$a = \bar{g} - (\bar{f} \times b) \quad (8)$$

以上により回帰直線を求め吸収度を成分含有量に変換することで絶対値での成分分布画像を作成することができる。

#### 4. 研究成果

本手法により、成分分布画像を実際に作成した研究成果を示す。ここでは、計測対象食品として図3に示すすくな南瓜を用いた。また、検出対象成分は南瓜などの野菜に多く含まれる糖の一種であるスクロースとした。取得画像はすくな南瓜を輪切りにし、その断面の画像を用いた。

先に成分分析によって計測したスクロースの吸光度特性  $A(n)$  と、2nm ステップで撮影し、得られた分光反射特性  $Re(n)$  を図4に示す。

スクロースの吸光度特性から、スクロースの最大吸収が 960nm にあることが判断できる。また、分光反射特性でも 960nm 前後に吸収帯があることがわかる。そこで、第一波長 F1 はスクロースの吸光度特性から最大吸収である 960nm を第一波長とした。

続いて、第二波長 F2 は逆に吸収しにくい波長を選ぶ必要があるが吸光度特性からは明らかに相反する波長が決定できなかった。そこで、F1 と最も相関係数が最大となる点を F2 とした。

図5で示す a から h までの 8 つの領域と、その各領域中の内側、ならびに外側領域の計 16 サンプルについて成分分析を行い、含有量を計測した。これをもとに 2.5 節での方法により回帰分析を行い、相関係数を求めた。なお、ここでは  $t = 0.2$ 、 $V = 35,000$  とした。

求められた各波長における相関係数の推移を図6に示す。ここから最も相関係数が最大となった 722nm を F2 と決定した。722nm と 960nm の差分画像中の濃淡値の相関係数は 0.926 となり、十分に高い相関を得た。

Table 1 は、各領域 16 サンプルのスクロース含有量の実測値 (g/100g) と、722nm と 960nm の差分画像から求めた各領域内の平均濃淡値を示す。



図3 SUKUNA pumpkin

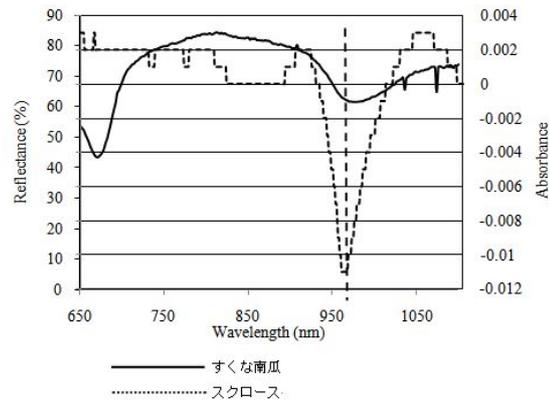


図4 Absorbance characteristic and reflection characteristic of the pumpkin

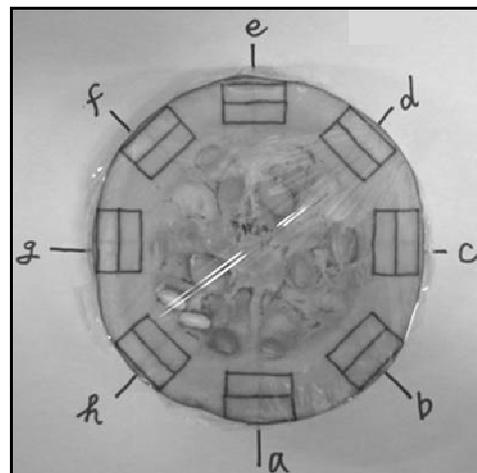


図5 Sampling regions

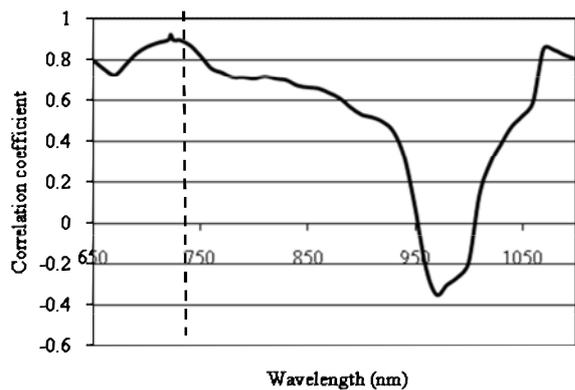


図6 Calculated correlation coefficient

次に、吸収度画像から成分含有量に変換するための回帰直線を行った。その結果を図7に示す。図7の各点は図5のaからhまでの内と外16サンプルを表している。

第一波長 F1=960nm, 第二波長 F2=722nm として差分画像を作成し、成分分布画像を作成した。ここで、下記に示す式は回帰分析によって得られた回帰直線であり、Y をスクロース濃度、Xを二波長それぞれの画像の差分値とし、差分値をスクロースの 100g 中の濃度に変換を行った。

$$Y=0.000371 \times X - 11.598$$

図8(a)と(b)は、それぞれ722nm、960nmの波長で得られたすくな南瓜の断面画像である。以上より求められたすくな南瓜中のスクロース成分分布画像を図8(c)に示す。なお、図8のすくな南瓜周辺のマーカーは実測値測定に用いた8領域の位置を示している。

図8(c)のスクロース分布画像を見ると、皮付近の果肉はスクロース分が少ないが、徐々に内側にいくにつれ、スクロースが増し、それが中心部の種の外側まで続いていることが分かる。果肉の内側の部分にスクロースが多く含まれ、外側にはあまり含まれていない結果となり、この結果は成分分析の結果とも一致している。

以上より、糖度分布画像から、南瓜の甘みがどのように分布しているか視覚的に判断することができる。また、従来では計測が不可能であったスクロースの分布状態を近赤外画像で計測することができ、さらに従来の成分分析では計測が困難であった高い解像度で分布を把握できることが分かる。

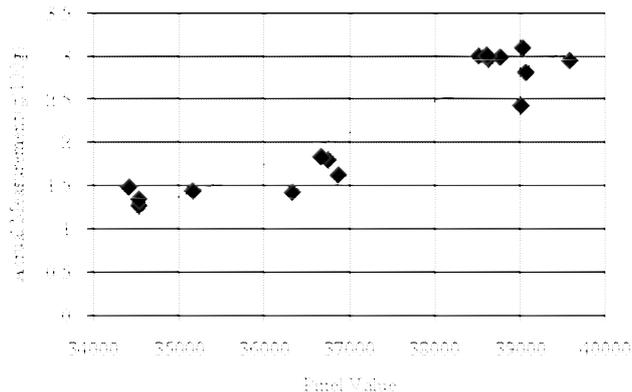
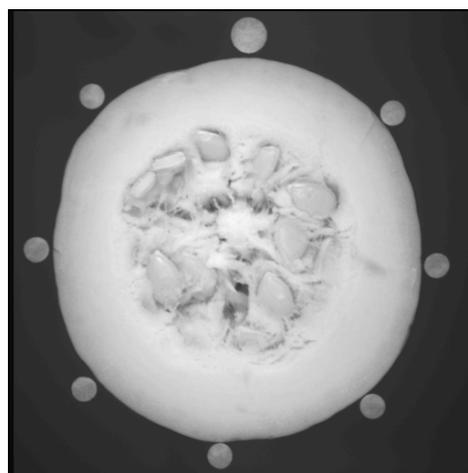
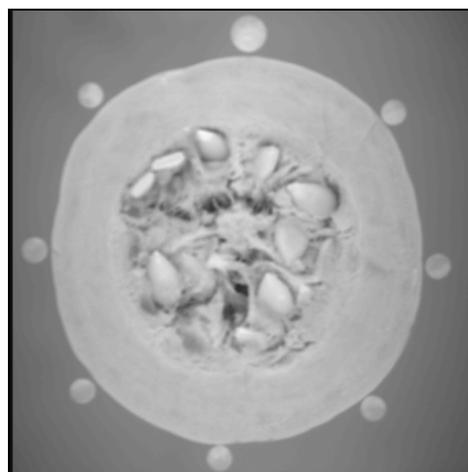


図7 Regression line between saccharose consistencies and subtraction values



(a)722nm



(b)960nm

