

画像解析による小麦ふすまパンの色彩的特徴

松下慶子*, 舘 和彦**, 森 俊夫**

*飯田女子短期大学 **岐阜女子大学

(2015年1月31日受理)

Color Features for Wheat Bran Bread Using Image Analysis

MATSUSHITA Keiko*, TACHI Kazuhiko**, MORI Toshio**

* Iida Women's Junior College

** Gifu Women's University

(Received January 31, 2015)

The purpose of this study was to elucidate delicate color changes taking place during functional bread development. Image density areas of wheat bran bread were measured for density histogram to determine to amounts of color information. While bran addition tended to decrease lightness, it showed no changes in colorfulness. Color hue angle was yellow for standard bread, whereas wheat bran addition moved it toward yellowish orange color. Measuring device, such as spectrophotometer, is generally used to measure bread for color tone, however, such device can only measure specific color components. The image analysis performed in this study clearly showed changes in color characteristics. It not only measured representative color components by area partition but also extracted feature values that properly reflected the contents.

キーワード：画像解析 (image analysis), 小麦ふすまパン (wheat bran bread), 色彩的特徴 (color characteristics)

1 緒言

小麦は、外殻、胚乳、胚芽の3つの部分から成り立ち、全体の約13%を小麦ふすまと

呼ばれる硬い外殻が占めている¹⁾。小麦ふすまは小麦の製造工程において約20%発生する副産物²⁾であり、食品産業廃棄物として扱われている³⁾。

近年、食品産業廃棄物の有効利用の視点から小麦ふすまは着目され、機能性に関する報告が多くなされている⁴⁻⁹⁾。そのため、生活習慣病予防や健康志向の高まりとともに、外殻、胚乳、胚芽のすべてを含む全粒粉のパンや、小麦ふすまを添加したパンが頻繁に製造されている¹⁰⁻¹⁵⁾。これら機能性を付加したパンの食品開発の際で重要な要因となるのが色調である。

しかしながら、パンの色調測定には分光色差計などの測色機による方法が一般的であり、特定の構成色を測定することしかできない。

そこで本研究は、機能性を付加したパンの食品開発を行う際の微妙な色彩的变化を明確にするために、画像解析により小麦ふすまパンの各画像濃度領域における濃度ヒストグラムの測定を行い、色彩情報量を求めた。

2 実験方法

1) 試料

試料は、標準パン、小麦粉を小麦ふすまに10%、20%および30%置換した小麦ふすま10%パン、20%パンおよび30%パンの4種類を用いた(図1)。

図2にはパンの内部表面画像を示した。色彩情報は画素位置ごとにRGBに分けて、それぞれR画像、G画像およびB画像の各色濃度を二次元配列として0~256階調で保存した。



図1 試料パン

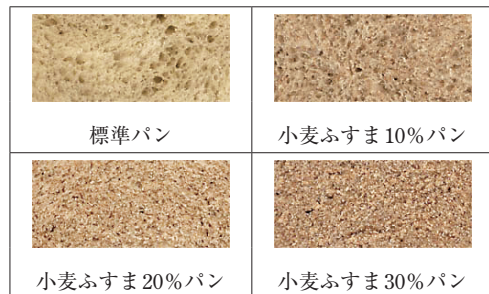


図2 パンの内部表面画像

2) CIEL*, a*, b*均等色空間

色彩情報をもった画像はカラー画像、色彩画像と呼ばれる。色彩情報は、光の3原色といわれるように、互いに独立な3つの色成分の組み合わせによって表現できる。

色彩情報の取り扱いにおいては、混色と等色が基礎となる。混色は、互いに異なる色を混ぜ合わせて別の色を作ることである。

一方、等色は、ある与えられた色に対して、基本となる別の複数列の混色によって、分光特性が同等となる色を作り出すことであ

る。等色によって再現された色は、目で見たときに同じ色として知覚される。

等色によって任意の色を再現する場合、基本となる色としては、互いに独立な3色があればよいことが知られている。これはグラスマンの法則と呼ばれ、人間の視覚における分光感度の互いに異なる3種類の錐体による色知覚と直接関係する。より一般的には、色彩情報は3つの成分の組み合わせで表現できる。

- ① 色光にかかわる3つの刺激値による
- ② 表現明るさ（光の強さ）と2つの色差値による表現
- ③ 色の3属性（色相、彩度、明度）による表現

なお、観測対象（視対象）の色彩情報は、一般に、視対象を照明している光源の特性と、各波長成分の光に対する視対象の反射特性との組み合わせによって決まる。このため、同じ視対象であっても、照明光源の特性によって色の見え方が異なってくる。このような照明光が物体色の見え方に及ぼす影響を演色と呼ぶ。

色光にかかわる3つの刺激値による表現としては、RGB表色系とXYZ表色系が代表的である。これらは加法混色の場合であるが、印刷分野などでは減法混色によるCMY表色系が用いられている。

3) RGB表色系

R, G, Bを原刺激（色）とし、各原刺激の大きさをR, G, Bとすると、任意の色Sは

$$S = RR_0 + GG_0 + BB_0 \quad (1)$$

と表現できる。すなわち、R₀, G₀, B₀の3色をR, G, Bの重みで混色することにより、任意の色Sを等色することができる。このような考え方に基づく色彩表現がRGB表色系

である。CIEのRGB表色系では、原刺激として、435.8, 546.1, 700.0nmの3つの単色光を用いている。波長380~780nmの間で、等エネルギーの単色光に等色するための3刺激値の分布 $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ が定められており、等色関数と呼ばれている。

分光エネルギー分布 $L(\lambda)$ をもつ色光に対する3刺激値R, G, Bは色で求められる。

$$\left. \begin{aligned} R &= \int L(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda \\ G &= \int L(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda \\ B &= \int L(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

R, G, Bを3つの軸とした3次元空間は色空間と呼ばれ、任意の色はこの空間中の一点Cに対応する。ここで、原点Oから点Cに至るベクトルを考えると、ベクトルの長さは明るさに関係し、ベクトルの向きが色に関係する。そこで、色だけを問題とする場合には、R, G, Bそのものの代わりに、次の3つの値 γ , g , b を用いる。

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= R/(R+G+B) \\ g &= G/(R+G+B) \\ b &= B/(R+G+B) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(γ , g , b)は(1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1)の3点を頂点とした三角形（単位面）内に位置し、色度座標と呼ばれる。実際には、 $\gamma + g + b = 1$ の関係があるので、 γ , g , b の3つの変数での任意の2変数によって表現できる。 γ , g を直交座標にとってもものは色度図と呼ばれる。

4) XYZ表色系

RGB表色系においては

- ① 等色関数の値が、波長により負となる部分がある
- ② 輝度がR, G, Bの線形和となっていて扱いにくい

③ 色度図上で、色の分布に偏りがあるという点が問題となる。これに対して、色の扱いを単純にするために、実在しない仮想的な色刺激X, Y, Zを用いたXYZ表色系がCIEにより定められている。XYZ表色系では、非負の等色関数を導入し、また、Yの値を輝度に一致させるようにしている。

XYZ表色系とRGB表色系とは互いに変換可能であり、両表色系で色光の輝度が一致するようにした場合には(4)式で関係付けられる。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.7689 & 1.7517 & 1.1302 \\ 1.0000 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0.0000 & 0.0565 & 5.5943 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (4)$$

なお、実用的には、X, Y, Zの代わりに

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (5)$$

を求め、Y, x, yの3成分による表現が用いられている。Yが輝度を表す。x, yは色座標となり、色合いを表現する。x, yを直交座標にとったものはxy色度図と呼ばれる。

2つの色の違いを論ずる場合、色度座標上での2つの色の距離と、人間に知覚される色の違いとがなるべく一致していると便利である。XYZ表色系ではこの要求を満足することができず、色の差を表現するには適していない。

このため、2つの色の差を定量的に表現する方法として、CIEによりCIE LAB ($L^* a^* b^*$), CIE LUV ($L^* u^* v^*$)などの均等色空間が定められている。例えば、CIE LAB ($L^* a^* b^*$)表色系は(6)式で表現できる。

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \\ L^* &= 903.29(Y/Y_n) \\ a^* &= 500 \left\{ (X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3} \right\} \\ b^* &= 200 \left\{ (Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ここで、 X_n, Y_n, Z_n は標準光の完全拡散面の3刺激値である。 L^* はメトリック明度と呼ばれ、明るさを表す。また、 a^*, b^* は色相と彩度にかかわる量である。

5) 画像の取り込み

画像の取り込みにはWindowsXPおよびEPSONカラースキャナーGT-7600Uを用い、画像サイズは400×900pixels, 解像度300dpiの条件で取り込んだ。

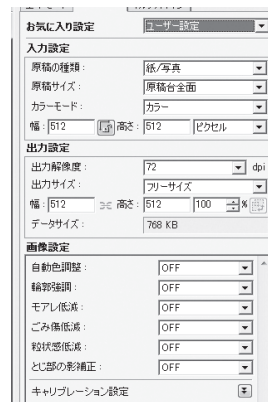


図3 スキャナの設定

取り込む際の画像設定は、自動色調整OFF, 輪郭強調OFF, モアレ低減OFF, ごみ傷低減OFF, 粒状感低減OFF, とじ部の影補正OFFとした。

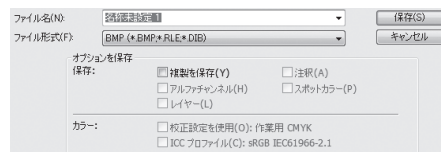


図4 ファイルの保存形式

画像を取り込み、保存をする際、ファイル形式はBMPに設定した。

6) 心理メトリック量

均等色空間の3つの座標軸 $a^*b^*L^*$ が RG クロマ, YG クロマ, 明度の意味を持つように選んだ時, 色の三属性, 明度, 彩度, 色相が対応する指数 (CIE 明度: L^* , CIE クロマ: C^*_{ab} , CIE 色相角 h_{ab}) を次の (7) の式のように, 定めることができる.

$$\left. \begin{aligned} & \underline{L^*C^*h \text{ 表色系}} \\ & L^* = L^* \\ & C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \\ & h = \tan^{-1}(b^*/a^*) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

取り込んだ各画素の全画素について, 画像情報量として, $L^*C^*_{ab}$ および h_{ab} 値を求め, それぞれの平均値を AVE- L^* , AVE- C^*_{ab} , AVE- h_{ab} として表した.

3 結果および考察

1) 色彩情報量

sRGB は多くのパソコンで使われているディスプレイの特性を標準化したものといえる. RGB 値をそれぞれ 0 から 255 まで変化させて, 色光を出している. 特に, R:G:B が 1:1:1 の割合で混合させると無彩色を呈し, R=G=B=0 だと黒, R=G=B=255 だと白となる.

R:G:B を 1:1:1 に保ったまま 0 から 255 まで変えると, 画面上の無彩色の輝度は RGB 値に比例して変わるかというとはなく, RGB 値が増加するにつれて急激に輝度が増加する. この増加の仕方は, γ を 2~3 程度の定数として, (8) 式で書くことができる. 図 5 には $\gamma = 2, 2.5, 3$ のときの γ 特性を示している.

sRGB で, RGB 値を与えたときに画面が出す色と XYZ 三刺激値の関係を, 多くのディスプレイの γ 特性を考慮し, 次のように決定

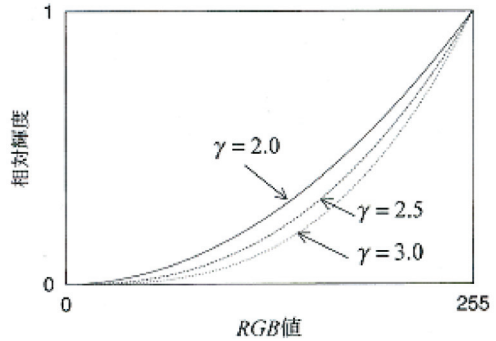


図5 γ 特性

する.

$$\left. \begin{aligned} R' &= f(R/255) \\ G' &= f(G/255) \\ B' &= f(B/255) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

0 から 255 の整数値をとる RGB 値を 255 で割って 0 から 1 の実数値とする. 次に $f(x)$ の右辺は x が 0.04045 以下のときは,

$f(x) = (1/12.92)x$ で, それ以外は $f(x) = \{(x + 0.055)/1.055\}^{2.4}$ で定義される.

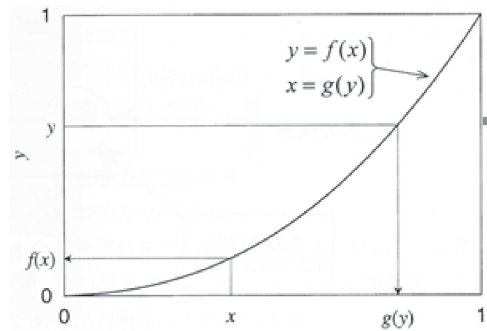


図6 sRGB の γ 特性

RGB 値から XYZ 値への変換は (9) 式によって行われる. ここで, RGB255 の白は標準光 D_{65} の光を完全拡散反射面に当てたときの物体色の XYZ 三刺激値となっている.

$$\left. \begin{aligned} X &= 0.4124R' + 0.3576G' + 0.1805B' \\ Y &= 0.2126R' + 0.7152G' + 0.0722B' \\ Z &= 0.0193R' + 0.1192G' + 0.9505B' \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

さらにXYZ値からL*a*b*への変換は(6)式によって計算される。ここで、均等色空間の3つの座標軸にL*a*b*を選ぶとメトリック明度L*, メトリッククロマC*, メトリック色相角hは(7)式により求めることができる。図7にはパンの断面画像(sRGB画像)をL*C*h画像に変換したものを示した。

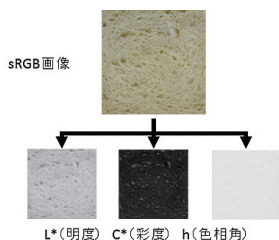


図7 XYZ値からL*C*hへの変換

パンの外観の色彩情報を評価するパラメーターとして、画素ごと計測した明度L*, 色相角hのそれぞれの度数分布をヒストグラムで表し、また全画素の平均値であるL*平均, C*平均, h平均を算出した。表1には標準パン, 小麦ふすま10%, 20%および30%パンの平均明度(AVE-L*), 平均彩度(AVE-C*)および平均色相角(AVE-h)を比較して掲げた。

表1 L*C*hの平均値および標準偏差

| | L*(明度) | C*(彩度) | h(色相角) |
|-------|------------|------------|------------|
| 標準パン | 68.9 ± 5.3 | 16.4 ± 1.2 | 85.7 ± 2.0 |
| 10%パン | 56.3 ± 5.9 | 17.5 ± 1.3 | 76.4 ± 3.2 |
| 20%パン | 48.6 ± 6.5 | 18.3 ± 1.3 | 71.0 ± 3.4 |
| 30%パン | 47.5 ± 6.4 | 16.1 ± 1.7 | 69.7 ± 4.4 |

L*(明度)平均値は標準パンに比べ、小麦ふすま20%パンまでは著しく明度が低下

したが、小麦ふすま30%パンになると明度の低下は見られなかった。C*(彩度)平均値は標準パンと小麦ふすま量に大きな違いは見られなかったが、h(色相角)は小麦ふすま量が増加するにつれて平均値も低下した。

2) ヒストグラムの比較

頻度分布からパン表面外観の色彩的特徴の違いを明確にすることができる。標準パン, 小麦ふすま10%パン, 20%パンおよび30%パンのL*(明度)のヒストグラムの縦軸は各明度における画素の頻度数を示す(図8)。

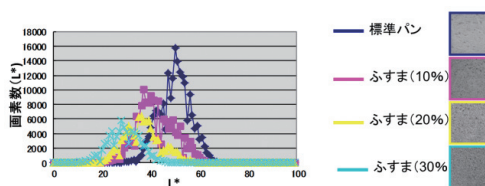


図8 L*(明度)のヒストグラム

標準パンに比べて、小麦ふすまが増加するにしたがって、ヒストグラムの中心が低明度側に移動した。平均明度も、小麦ふすまの添加量に比例して低下するが、小麦ふすま30%パンになると低下する傾向は小さくなった。

C*(彩度)のヒストグラムでは小麦ふすまの添加量が増加すると、ヒストグラムの中心も平均彩度も高くなるが、小麦ふすま30%パンでは逆に低下した(図9)。

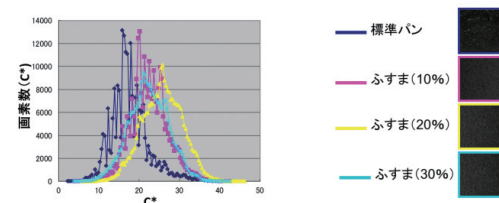


図9 C*(彩度)

図10のh（色相角）では、いずれのパンもヒストグラムにおいてあまり違いは見られなかった。しかし、標準パンの平均色相角は85.7°の黄色を示したが、小麦ふすまを添加することによって、小麦ふすま10%パンでは76.4°に、20%パンでは71.0°、30%パンでは69.7°と、オレンジ方向に移動した。

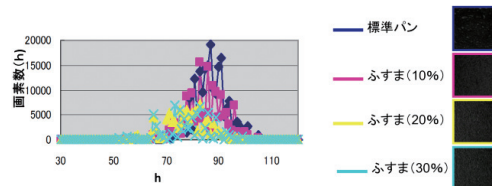


図10 h（色相角）

4 結論

画像解析を安価な装置であるカラーキャナーを用いて、標準パン、小麦ふすま10%パン、20%パンおよび30%パンの測定に適用した。sRGBからCIEカラーシステムXYZへの変換に γ 補正を適用し、パン内部画像の各画素に対してCIELABの公式を用いてCIEL*, C*およびhを求めた。

小麦ふすまを添加することによって、明度は低下する傾向がみられるが、彩度は変化が見られなかった。色相角は標準パンが黄色であるのに対し、黄橙の方向へ移動することが見出された。

今回の画像解析により、小麦ふすまパンの微妙な色彩的变化が明確になった。さらにヒストグラム分布から色彩特徴の変化を明確にすることによって、領域分割による代表的な構成色のみの測定だけではなく、内容を適切に反映した特徴量を抽出することができた。

引用文献

- 1) 吉野精一：パン「こつ」の科学. 柴田書店. 2011.
- 2) 日本製粉株式会社
(http://www.nippon.co.jp/ir/announcement/.../2014/11/19/2014m-3_2.pdf) (7 Jan 2015).
- 3) 環境省. 食品産物の現状.
(<http://www.env.go.jp/recycle/food/gaiyo04.html>) (10 Jan 2015).
- 4) 樋口誠一, 高橋学, 山路明俊. 小麦由来機能性成分の新規利用技術の開発. 埼玉県産業技術総合センター研究報告. 2006, 5, 71-75.
- 5) 片柳悠紀. 小麦ふすまの機能性. ルミナコイド研究. 2013, 17(2), 73-76.
- 6) 樋口誠一. 小麦ふすま由来の機能性食品素材の開発. 日本醸造協会誌. 2009, 104(2), 105-110.
- 7) 野方洋一. 小麦ふすま由来アンデオテンシン I 変換酵素阻害ペプチドの高血圧自然発症ラットに対する血圧降下作用. 日本食品科学工学会誌. 2011, 58(2), 67-70.
- 8) 江頭祐嘉合. メタボリックシンドローム予防を目指した小麦ふすま由来食品素材の開発. 飯島記念食品科学振興財団. 2007, 125-128.
- 9) 中嶋洋子, 津田淑江, 永山スミ子, 池上幸江. 若年女性における特定保健用食品の使用実態と小麦ふすまシリアルへの排便改善効果. 日本食物繊維研究会誌. 2001, 5(2), 11-20.
- 10) 橋本玲子. 昨今注目されている小麦ふすまの健康効果および小麦ふすまを取り入れた商品. 食品と科学. 2013, 55(11), 82-84.
- 11) 小林裕子, 中井秀了, 堀本泰美, 知地英征. 小麦ふすま添加食パンのランダムセントロイド最適化法による材料配合割合の検討. 藤女子大学・藤女子短期大学紀要. 1997, 35, 31-37.
- 12) 筒井知己, 金井節子. 小麦ふすまの製パン性に関する研究. 聖徳栄養短期大学紀要. 1995, 26, 1-8.
- 13) 小麦ブランブレッド. 群馬大学産学連携共同イノベーションセンター.
(<http://www.ccr.gunma-u.ac.jp/4u/Events/2009/Documents/Events2010022301/Events2010022301Doc05.pdf>) (10 Jan 2015).
- 14) 高崎禎子. パン生地の物性, イーストの発酵能および製パン性に及ぼす小麦全粒粉混入の影響. 調理科学. 1993, 26(4), 327-334.
- 15) 瀬口正晴. 発芽小麦ふすまの製パン性に及ぼす影響. ニューフードインダストリー. 2011, 53(6), 29-36.