

高精度3次元計測によるスポンジケーキのおいしさ評価手法

A Taste Evaluating Method of the Sponge Cake by using High Precision Range Finder

加藤邦人¹⁾, 山本和彦¹⁾, 小川宣子²⁾

Kunihito KATO, Kazuhiko YAMAMOTO and Noriko Ogawa

1) 岐阜大学 工学部

(〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1, [kkato, yamamoto}@info.gifu-u.ac.jp)

2) 岐阜女子大学家政科

(〒501-2592 岐阜市太郎丸 80, ogawa@gijodai.ac.jp)

Abstract: In this paper, we propose a new method to estimate of the deliciousness of a sponge cake. Depending on the size and number of bubbles on the surface, our method can detect the deliciousness of the sponge cake. Bubbles are detected using 3D image processing, they are then classified and statistical data is generated. We tested our method using two cakes made from different eggs and the most delicious cake was successfully detected.

Key Words: deliciousness estimation, high precision 3D measuring, bubble detection

1. はじめに

現在、食品の画像処理による検査が多方面で行われつつある。しかし、これらは工業製品の外観検査などと同じく、生産管理的な品質検査がほとんどである[1][2]。一方、食品業界では品質検査にとどまらず、食品のおいしさなど「味」の検査への期待が大きい。このような味の検査を行う研究もいくつか見受けられるが、視覚センサで味覚を定量的に評価するのは簡単ではなく、ほぼ皆無というのが現状である。実際、味を画像処理で評価する場合、味に関連する事象が何かしらの視覚センサで計測できることが必要であり、そのような事象は限られたものとなる。

本研究では、この計測可能な味に関連する事象として、スポンジケーキの気泡に注目した。調理科学では、スポンジケーキの気泡の分布とおいしさには明らかな関連があることが報告されている[3]。従来、調理科学の分野では、この気泡の分布を調べるためケーキ断面の気泡の面積を目視により検出していた。そこで、本研究ではこれらの自動化を目的とし、スポンジケーキの断面を高精度三次元スキャナで計測し、スポンジケーキの三次元形状から気泡を検出する。これにより、今まででは不可能であった3次元的な気泡形状を取得することができる。次に、この検出された気泡の分布より、統計的手法を用いおいしさの評価を行う。これにより、おいしさの定量化を目指す。

本稿では、これら物の形状と味とを関連付ける手法を提案し、栄養学的実験と本手法を比較することにより、本手法が有効な検査法であることを示す。

2. おいしさについての考察

食べ物のおいしさは感性的な評価量であり、それは複数の感覚で計測された多数の要因によって構成されている[4]。図1に示すように、おいしさは、化学的味(味覚)、香り(嗅覚)、色、光沢、形状(視覚)、テクスチャ、温度(触覚)、音(聴覚)などの要因で構成される。これらは味覚、嗅覚の感知による化学的な味と、視覚、触覚、聴覚などによる物理的な味に分けることができる。一般に「味」といった場合、前者の化学的な味を考えるが、本来は複数の要因がかかりあっておいしさを決定している。画像処理によるおいしさの定量化を考えた場合、化学的な味の評価は一般的にカメラ等視覚センサで計測不能であり、難しいと考えられる。従って、ここでは後者の物理的な味に注目する。本研究では、この中で食品の組織や構造とかわりが深いテクスチャに注目した。

食品のテクスチャとは、主に口の中の感触によって決定されると定義される。具体的には、食品の柔らかさ、弾力

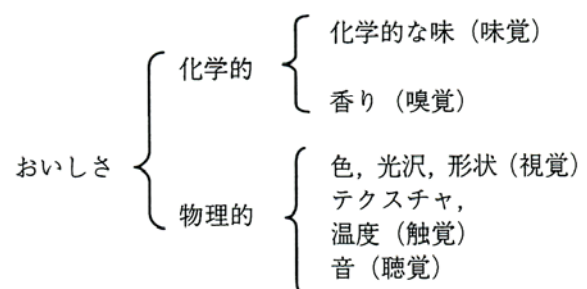


図1 味の構成要素

性、付着性、粘性などのような食品の力学的性質を指す。テクスチャの分類を表1に示す。

表1 テクスチャの分類

| パラメータ | 慣用語 | 特性の内容 |
|-------|-------------------------------------|----------------------------|
| 硬さ | 柔らかい, 硬い, 歯ごたえのある | 変形に要する力 |
| 凝集性 | ポロポロの, ガリガリの, もろい, 柔らかい, 崩れやすい, 粉状, | 食品を形作る内部結合力. 破壊に要する力 |
| 粘性 | さらさらした, 粘っこい | 単位力による流動割合 |
| 弾力性 | 塑性のある, 弾力のある | 外力による変形が, 外力除去後もとに戻る割合 |
| 付着性 | ネバネバする, ベタベタする | 食品と歯, 口蓋間の引き合う力に打ち勝つのに要する力 |

本研究では、これらのテクスチャの中でも、スポンジケーキのおいしさを決定するのに重要な要素の一つである凝集性に注目した。凝集性は物体のもろさ、柔らかさ、崩れやすさなどをあらわし、今回対象としたスポンジケーキの場合、凝集性が高いものほどおいしいとされる。スポンジケーキの場合、凝集性はケーキに含まれる気泡と密接に関係しており、一般的に小さな気泡が多数分布しているほうがおいしい物とされる。逆に、大きな気泡が存在したりする場合、凝集性は低くなりおいしくなくなる。従って、スポンジケーキの気泡が何かしらの方法で検出可能ならば、凝集性の観点からおいしさの評価が可能となる。

3. ケーキ断面の計測

スポンジケーキ中に含まれる気泡の検出を行うため、ケーキ断面の3次元計測を行った。断面の計測には、松下電器製三次元形状計測器 Pana3D を用いた。Pana3D の概観を図2に示す。

本装置はレーザー計測による非接触型の三次元計測器で、Z軸に±25μmの精度で計測可能である。また、X-Y軸は10μmの精度で計測ヘッドを制御可能である。

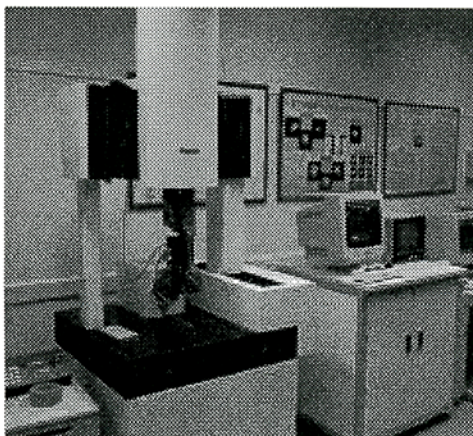


図2 高精度三次元計測器 Pana3D

接触型計測器では、今回用いた計測器より良い精度を持つものも多いが、形状が変形するためスポンジケーキのような非常に柔らかなものを計測するには向かず、非接触型が最適である。また、スポンジケーキ中の気泡サイズは、平均0.12mm²であることから本計測器の計測精度は十分である。

実際には、気泡面積が平均0.12mm²であることから、気泡を球と仮定すると直径約0.4mmとなる。そこで、4章で詳しく述べるが、計測エラーを考慮し十分な検出精度であるX-Y軸10μmステップで計測を行った。

計測に用いたサンプルは、比較実験対照の条件以外は全てそろえて焼いたスポンジケーキを用いた。図3にサンプルの一つを示す。

以上のような3次元計測装置を用いて、スポンジケーキ断面の三次元形状の点群を得た。図4に計測された点群データの一例を示す。



図3 サンプルに用いたスポンジケーキ

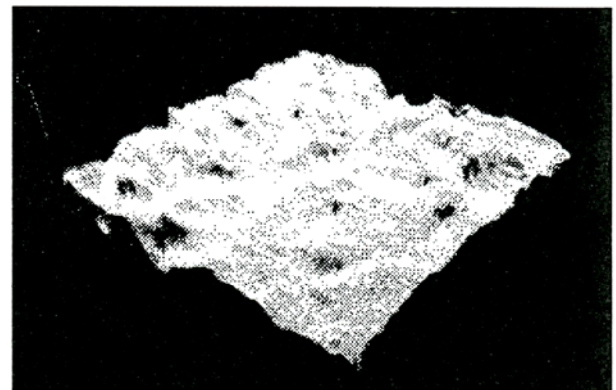


図4 計測された点群データ

4. 気泡の検出

以上により計測した1cm四方のスポンジケーキの断面形状データを基に、気泡検出を行った。まず、三次元点群データに前処理を行った後、距離画像に変換した。続いて、距離画像から気泡を検出し、検出されたそれぞれの気泡の体積を計測した。以下に気泡検出手法を示す。

4.1 距離画像への変換と前処理

まず、計測器により計測された三次元点群データを距離画像に変換した。点群データ中で計測できていない点が存在するため、256×256の距離画像平面のセルに入る点群のZ値を累積し、セルに入った点の個数で平均を取ることで距離画像を作成した。この場合、距離画像の1画素は約

0.04mmを表すこととなる。

また、計測データにより精度が変わらなくするため固定の階調とはせず距離値を基にした分割とし、距離値の解像度はx-y軸の分解能に合わせ約0.04mm刻みとした。

今回用いた計測器は非常に高精度ではあるが、レーザ計測のため気泡の壁面のオクルージョンなどの理由により計測エラーが起こる場合があり、これらの点は計測不能となる。従って、以上のように余裕を持たせ距離画像を作成したが、エラーによりノイズとなる画素が見受けられた。そこで、作成された距離画像に対し、距離値があるしきい値以下の場合、メディアンフィルタを適用しノイズ除去を行った。図5に前処理後の距離画像例を示す。

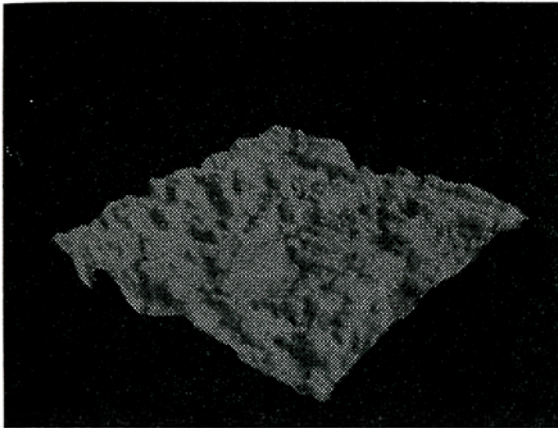


図5 メディアンフィルタによる前処理後

4.2 気泡の検出

以上のようにして作成した、ケーキ断面から気泡を検出した。まず、距離値を0から順にその距離値をしきい値とし2値化を行う。これにより、図6のようなある距離値でスライスした2値化画像がz軸の値に応じて作成される。次に、これらの2値画像に対しラベリングを行い、気泡に対応する領域を求める。最後に、z軸の下から順に気泡断面領域を、上の断面領域と統合を行った。

このとき、統合の判定基準として上下の気泡断面領域の面積の増加率を用いた。これはちょうど、池にたまった水が溢れ出したとき、急激に面積の増加率が上がるのと同じである。図7に示すように、高さhの面とh+1の面の気泡断面領域の面積の増加率があるしきい値t以下の場合、それぞれの領域を統合し、上下の気泡断面領域に新たな3次元ラベルを割り当てる。逆に、しきい値を超えて溢れ出した場合、それ以上の面の気泡断面領域は他のどの面の領域とも統合を行わない。また、ある気泡断面領域の上の領域がすでに他の面と統合済みであった場合、上と下の3次元領域を統合する。以上のような処理を、z軸の下から順次行っていくことでラベリングされた3次元の気泡領域を検出した。図8に検出された気泡領域をボクセル表示する。

最後に、同じ3次元ラベルがついた気泡を抽出し、ボクセルで画素数をカウントし、気泡それぞれの体積を求めた。このとき、一つの立方体の体積は約 $0.04 \times 0.04 \times 0.04 \text{mm}^3$ となる。

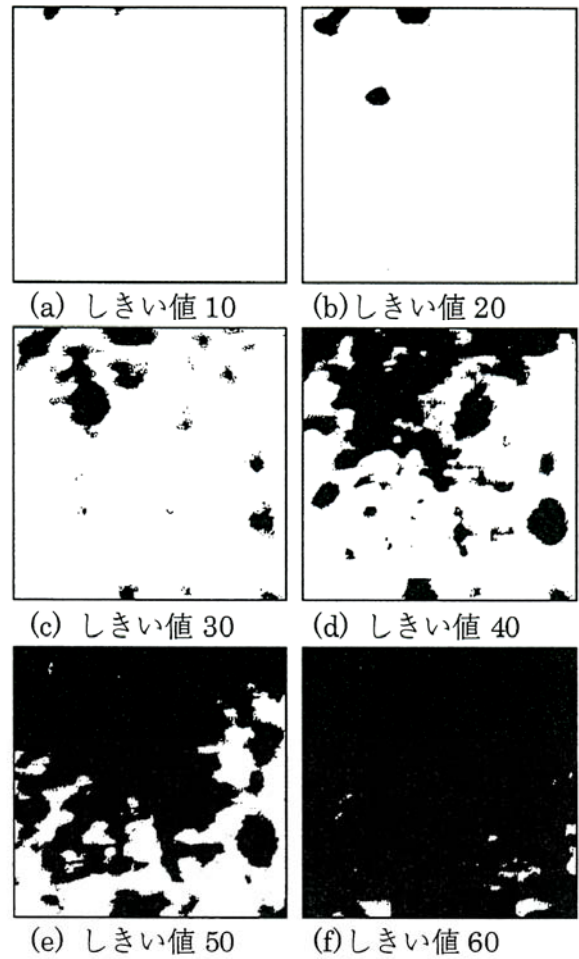


図6 各スライス面での2値化結果

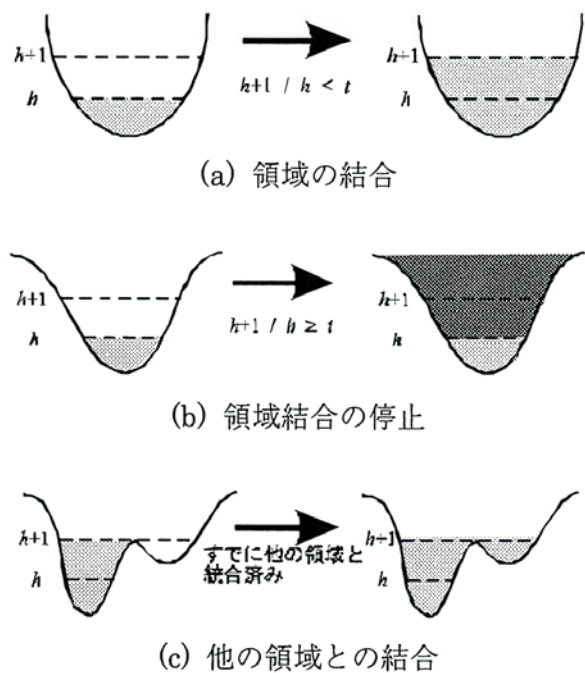


図7 気泡断面の統合処理

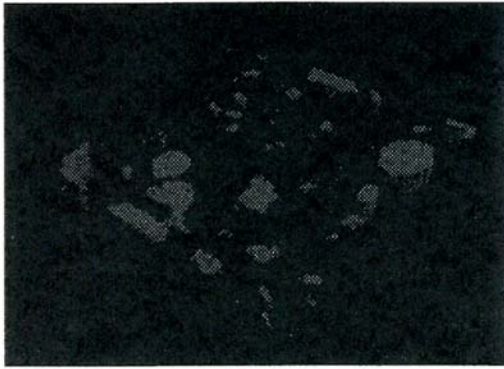


図8 気泡検出結果

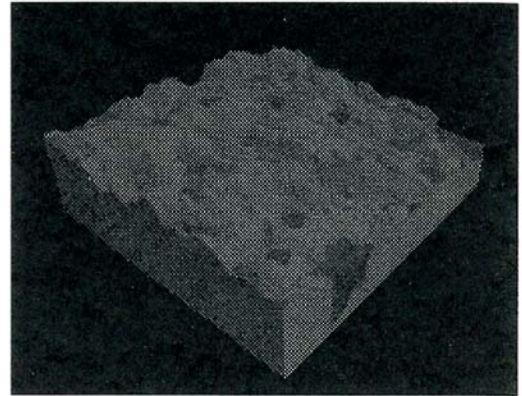


図9 地鶏の検出結果

5. 実験

実験として、地鶏と白色レグホーン種の2種類の産卵鶏種の異なる卵白を用い、それ以外の要素はまったく同じ条件で焼いたケーキを5個ずつ用意し、それぞれの断面から気泡体積と個数を検出した。この平均体積と個数から、産卵鶏種により凝集性がどのように異なるか、すなわちどちらがおいしいかを調べた。平均値±標準偏差はすべて5個の値で示す。また、体積は mm^3 ではなく、ボクセル数である。

図9に地鶏の気泡検出結果の一例を、図10に白色レグホーン種の気泡検出結果の一例を示す。それぞれ、距離値30以下の点についてはノイズとしメディアンフィルタで平滑化を行った。また、領域結合のしきい値 t の値は、普段目視により気泡を決定している調理科学の分野の人に、実際に実行時に決定してもらった値を用いた。

その結果として、地鶏で作成したときの気泡1つの平均体積と標準偏差は 2173 ± 510 で、白色レグホーン種は 1732 ± 544 となり、白色レグホーン種のケーキ中に存在する気泡の方が小さかった。また平均気泡数は、地鶏は45個、白色レグホーン種は47個で大きな違いはみられなかった。

一方、ケーキの弾力性を表わす物性の指標として凝集性が用いられ、値が大きいほど弾力があることを表わしている。今回、従来調理科学で一般的に用いられてきた弾力性を計測する計測器でこの凝集性を計測した結果、白色レグホーンから作成したケーキの凝集性は 0.867 ± 0.006 、地鶏は 0.855 ± 0.008 であった。このことから、白色レグホーン種で作成したケーキの方が弾力性に富んでいた。この原因としてケーキ内部に存在する気泡の体積が小さいこととの関連が考えられている。

これらのことから、本システムで計測した平均気泡体積では、白色レグホーン種の方が気泡体積が小さくおいしいという結果となった。これは、従来手法で計測した凝集性の結果と一致し、本システムの有効性が実証された。

6. まとめ

今回は、3次元高精度スキャナによりスポンジケーキ断面を計測し、その3次元形状からスポンジケーキに含まれる気泡を検出することで、ケーキのおいしさ評価を行う手法について提案した。これにより、現在まで手作業で平面的に行われていた気泡検出を、3次元形状を自動で検出で

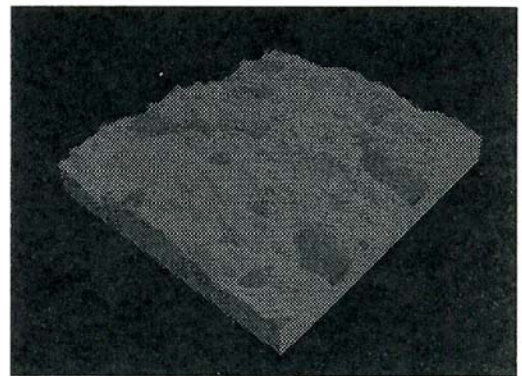


図10 白色レグホーン種の検出結果

きる新しい計測手法を確立した。実験により本手法は調理科学的にみても非常に有用なことが証明された。これにより、現在まで調理科学の分野で行われてきた味の判定をさらに高精度に実現できる可能性を示した。

今後の課題として、気泡検出手法の改良が挙げられる。特に、今回用いた、ラベル領域の融合手法はパラメータの設定がしばしば難しく、ケーキ中に含まれる気泡全てに適合するパラメータを決定することができない場合も見受けられた。このことから、今後は Watershed 変換[5]を活用するなどにより、より簡単な検出方法の開発を行う。

参考文献

- [1]G.Adorni, D.Bianchi and S.Cagnoni: Learning Fuzzy Decision Trees for Ham Quality Control, Trans. QCAV2001, T.1, pp.259-264, 2001.
- [2]川村, 平皮, 河合, D.Pishva, 山守, 椎野: パン画像認識システムの検討, 2000年度電気関係学会東海支部連合大会, 699, p.350, 2000.
- [3]四宮: 膨化のメカニズム, 日本調理学会誌, Vol.33, No.4, pp.494-502, 2000.
- [4]島田, 下村: 調理とおいしさの科学, 朝倉書店, 1993.
- [5]L.Vincent and P.Soille: Watersheds in Digital Spaces: An Efficient algorithm Based on Immersion Simulations, IEEE Trans., PAMI, Vol.13, No.6, pp.583-598, 1991.