

コンピュータによる多孔性食品の品質制御 —デジタル画像解析による食パンのすだちの定量化—

三 浦 靖
岩手大学農学部

〔研究目的〕

パンやケーキ、クッキーなどのベーカリー製品、エクストルーダー加工のスナック菓子などの多孔性食品では、気孔の大きさ、形状、配向性などの気孔構造が製品の品質にとって重要な決定因子である。従来から行われている目視検査による気孔構造の評価は低効率かつ定性的であり、その判定基準はメーカー（工場、人）ごとに異なっていた。さらに、製品の気孔構造と力学特性あるいはテクスチャーとの関連性も十分に明らかにされていないため、経験から製品の品質コントロールをせざるを得なかった。

パン^{1)~5)}、ケーキ⁵⁾、スナック菓子^{6)~9)}などについては、気孔の大きさの定量化、気孔構造と物性（体積、比重、粘弾性など）との関連性が検討されているが、これらの品質に大きな影響を及ぼしている気孔の配向性は検討されていない。そこで、本研究ではパンについて、気孔の大きさと配向性を迅速に定量化する画像解析法を開発し、気孔構造と力学特性を関連付けて品質管理の指標を得ることを目的にした。

〔研究方法〕

1. 試 料

ソフト山形食パン（盛岡市内のメーカー）の3斤棒を5ローフ用いた。製パン工場から研究室までの試料の搬送には、発泡スチロール製保温箱を用いて製品の温度変化を抑制した。また、試料からの水分蒸発を抑制し、水分の分布を平衡化させてクラムの硬さのばらつきを低減させるために共押出し多層バリアフィルム（CANS FILM F、四国化工（株）製）の袋に入れ、25℃の恒温室に一昼夜保存した。試料は実験直前にパンスライサー（1枚切りスライサー FK-21型、富士島工機（株）製）を用いて力学特性測定には厚さ25mm、画像解析には厚さ10mmにスライスした。なお、試料は両端部を厚さ20mmずつ取り除いて、両端から中心部に向かって厚さ10mmと厚さ20mmとに交互にスライスし、一方の末端から1、2、4枚目のスライス、および他方の末端から1、3枚目の合計5スライスずつを実験に供した。

2. 画像解析

パーソナル画像処理・解析システム（DA-5000 Type R、新王子製紙（株）製）を用いた。スライスした食パンの約9.8cm平方のクラム部分を512×475画素の1画像として入力して

原画像を得た。このときのクラムの照度は 295 Lx で、焦点距離は 75 cm であった。次に、原画像に対して前処理を一切行わずに Fig. 1 に示した 128 × 128 画素（1 画素は 0.191 mm に相当）の 5 領域のそれぞれの画像について、2 次元高速フーリエ変換（2D-FFT）¹⁰⁾ を行いパワースペクトルを得た。0 次を中心にして 4 画素ごとに 16 のリングマスクによりパワースペクトルの空間周波数成分を同心円分割し、各領域のパワー強度を積算し、等面積規格化して構造の粗さ（気孔の大きさ）に関する情報を得た。なお、リングマスク番号が小さいことは低周波数である（構造の規則性が粗い）ことを意味している。また、10 deg ごとに 18 のウェッジマスクによりパワースペクトルの方向成分を分割し、各領域のパワー強度を積算し、等面積規格化して構造の方向性（気孔の配向性）に関する情報を得た。なお、水平線からウェッジマスク番号 × 10 deg の角度で規則的な構造が繰り返していることになる。

3. 単軸圧縮試験

フルスケール 2 kgf ロードセルおよび円柱状プランジャー（直径 16 mm、高さ 25 mm）を装着した単軸圧縮・引張型レオメータ（クリープメータ RE-33005、(株)山電製）を用いた。距離分解能 0.01 mm、圧縮速度 $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ に設定し、画像解析と同じクラム領域の厚さの 70% を変形上限として単軸圧縮試験を行った。AACC 法¹¹⁾に準じて、ひずみ 0.25 の時の応力をクラムの硬さとした。

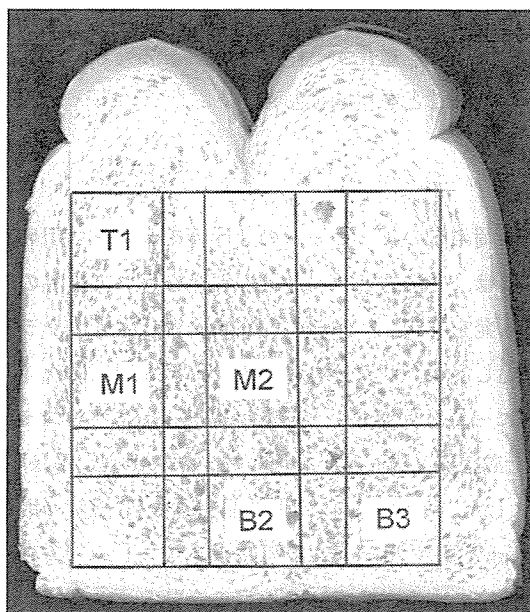


Fig. 1 Five regions of bread crumb for digital image analysis and unidirectional compression test. Analysis regions are outlined as black squares (128 × 128 pixel)

[結果と考察]

1. 食パンのすだちの画像解析

試料1 ローフから切り出した5スライスについて、Fig. 1に示した5領域の画像に対して2D-FFT法により得られたパワーの周波数依存性と角度依存性の一例をFig. 2に示した。まず、周波数依存性ではパワーが低周波領域から高周波領域に向けて指数関数的に減少した。領域T1およびB2については、パワーが他領域より強いことから大きい気孔が分布していた。また、領域T1およびM2ではリングマスクNo. 1におけるパワーが試料スライスにより異なることから、スライスの上部と中央部における気孔の大きさ分布が同じローフであっても一様でないと考えられた。次に、角度依存性では、5領域を比較すると領域T1、M2およびB2以外の領域ではほぼ一定の範囲内でパワーが推移しており、配向性に目立った特異性はないと思われた。しかし、ローフの中央部に近いスライスの領域T1および領域M2では、ウェッジマスクNO. 1とウェッジマスクNo. 18でパワーが増大し、垂直方向に配向している気孔が多かった。また、ローフの末端に近いスライスの領域M2では、ウェッジマスクNo. 9に若干のピークが認められることから、水平方向に配向している気孔も多くあった。

2. クラムの力学特性

5ローフについて、1ローフごとに5スライスを切り出して得た25スライスにおける5領域のクラム硬さの平均値と標準偏差をFig. 3に示した。領域T1、M1、B2がほぼ同じ硬さであり、M2が最も柔らかかった。また、領域T1とB2における硬さの標準偏差が他の領域に比べて大きいことから、ローフおよびローフ部位によりこれらの領域の硬さが変化することが把握できた。

3. クラムの気孔構造と力学特性との関係

領域T1、M1、M2、B2、B3の気孔面積率は、それぞれ49.0%、45.3%、38.5%、42.2%、43.2%であった。スライス中央部の気孔面積率は他の領域より小さく、柔らかかった。気孔壁が薄く、単位体積中の気孔数が少なければクラムは柔らかくなるはずであるから、クラムの中央部の気孔壁は薄いことになる。

以上のことから、2D-FFT法による気孔構造の画像解析と力学特性の測定を併用することにより、気孔の大きさ、配向性、壁の厚さに関する情報が得られることがわかった。今後は、品質管理の指標となるデータが得られる特徴的な領域を特定し、さらに測定方法を簡略化して品質の良否を自動判定するシステムを構築する予定である。

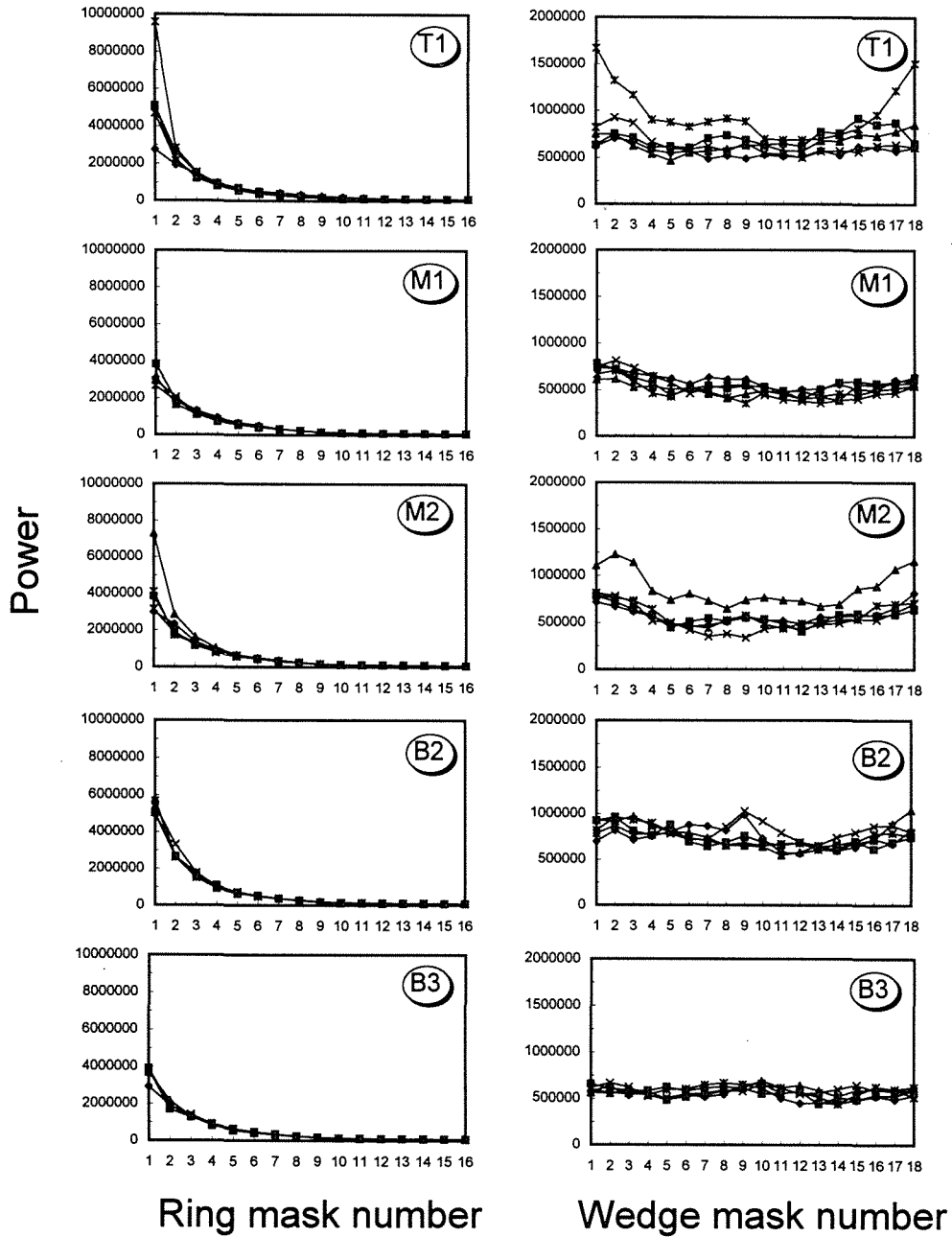


Fig. 2 Frequency and angular distribution functions of power spectrum obtained from 2 D-FFT for soft bread
 ◆, Slice 1; ■, Slice 2; ▲, Slice 4; ×, Slice 5; *, Slice 7

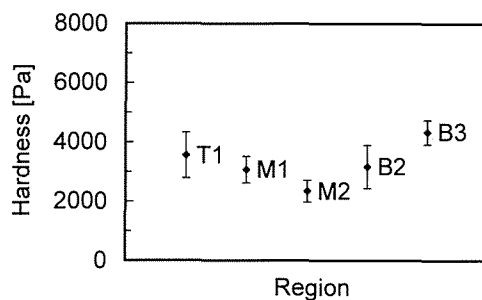


Fig. 3 Crumb hardness at five regions of soft bread.

文 献

- 1) Bertrand, D., Guerneve, C. L., Marion, D., Devaux, M. F. and Robert, P. : *Cereal Chem.*, **69**, 257, 1992
- 2) Zayas, I. Y. : *Cereal Foods World*, **38**, 760, 1993
- 3) Sapirstein, H. D., Roller, R. and Bushuk, W. : *Cereal Chem.*, **71**, 383, 1994
- 4) Rogers, D. E., Day, D. D. and Olewnik, M. C. : *Cereal Foods World*, **40**, 498, 1995
- 5) 合谷祥一, 有内尚子, 川染節江, 山野善正 : *日食工誌*, **39**, 749, 1992
- 6) Smolarz, A., Hecke, E. V. and Bouvier, J. M. : *J. Texture Studies*, **20**, 223, 1989
- 7) Moore, D., Sanei, A., Hecke, E. V. and Bouvier, J. M. : *J. Food Sci.*, **55**, 1383, 1990
- 8) Barrett, A. M. and Peleg, M. : *J. Food Sci.*, **57**, 146, 1992
- 9) Tan, J., Gao, X. and Hsieh, F. : *J. Food Sci.*, **59**, 1247, 1994
- 10) 工藤重樹, 三浦靖 : ネオマシンビジョンアプリケーション - 目視検査の自動化技術, 興水大和監修, (株)テクノシステム, pp249 ~ 267, 1995
- 11) Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, Method 74-09, Final Approval October 26, 1944