パーソナルコンピューター接続レオメトリーシステムによるテクスチャープロファイル分析とそのデータ処理

三浦 靖*・谷井 聡*・木村通秀*・山内文男*

Texture Profile Analysis and its Data Processing with Personal Computer-onlined Rheometrical System

Makoto MIURA*, Satoshi TANI*, Mitihide KIMURA* and Fumio YAMAUCHI*

* Department of Food Chemistry, Faculty of Agriculture,
Tohoku University, Sendai, Miyagi, 980

An automatic data processing for texture profile analysis (TPA) by using a personal computer-onlined rheometrical system has been developed, and the performance and applicability of the system were evaluated by comparing the result of data processing by computer with that of manual treatment. The data-processing program for calculating of textural parameters was developed by using BASIC language. The results of the data processing for TPA were in good agreement with those of manual treatment. Correlation coefficients between manually measured TPA parameters and computer-assisted data processing using gelatin gels (3%), agar gels (1%) and low methoxyl pectin (LMP) gels (2%) were generally higher than $r=0.99$. The data-sampling times from the rheometer into the memory of the computer was 35 ms per 1 point of data. The data processing time for textural parameters was 2 min per 1 data file (2400 points of data).

(Received May 30, 1983)

食品テクスチャーの研究において、機器を用い、かむ操作を単純化した模擬的動作により、テクスチャー特性値を求めるというテクスチャープロファイル分析 (TPA)¹⁾ が提案されて以来、この分析法は広く用いられている。BOURNE らは^{2),3)} はインストロン試験機によって TPA を行ない、TPA 曲線の解析にあたってコンピューターに接続したデジタイザーによってレコーダーチャートの X-Y 座標を読み込ませ、各パラメーターの計算を行なっている⁴⁾。ところで、マイクロコンピューターを内蔵するレオメーターは市販品として入手することができるが、プログラムが固定化されているため装置の活用に汎用性が無く、応用面が限定されることが多い。またシステムの価格も非常に高価であるという欠点もある。パーソナルコンピューターとレオメーターとを接続するインターフェースおよびプログラムが自作できれば、研究者の目的に合致した測定システムを製作するこ

とが可能になるばかりでなく、コストの面でも利点がある。

本研究は、パーソナルコンピューターを用いるテクスチャープロファイル分析システムの開発と、コンピューターによるデータ処理の実用性について検討を行なったので報告する。

実験方法

1. 測定装置

(1) レオメーター⁵⁾

レオメーター本体にはレオナー RE-3305 (山電) を使用した。本レオメーターは圧縮・引張型デジタルレオメーターであり、試料に与える外力を変位 (0.01 mm 単位) あるいは荷重 (1g 単位) によって設定できるようになっている。荷重センサーにはストレインゲージ荷重変換器が用いられ、測定範囲は荷重モードで ± 1999 g,

* 東北大学農学部食糧化学科 (〒980 宮城県仙台市堤通兩宮町 1-1)

Fig. 1 Outline of the rheometrical data processing system

変位モードでは ± 19.99 mm である。

(2) ハードウェア

レオメーターからの情報を正確に速く、簡単に入手するためにパーソナルコンピュータを利用した演算処理を行なった。システムを効果的に運用するために周辺装置も備えて Fig. 1 に示すように構成して自動解析装置とした。

レオメーターの出力は荷重モードで 1 g 当たり 1 mV, 変位モードで 0.01 mm 相当を 1 mV として最大 ± 2 VDC の範囲で行なわれるが、微小変形の場合の電圧値は小さい。そこで、途中で直流増幅器 (3132 型, 横河電機) とノイズフィルターを挿入して出力アナログ信号の増幅を行ない、コンピュータ内蔵のアナログ入力端子に入力した。ここでアナログ/デジタル変換器 (変換精度 8 ビット, 変換速度 5 ms) によりアナログ信号がデジタル信号に変換される。コンピュータ部はパーソナルコンピュータ (FM-8, 富士通), キャラクタディスプレイ (JB-1201M, NEC), デュアルミニフロッピーディスクユニット (TF-20, エプソン), ターミナルプリンター (MP 80 III F/T, エプソン) などから構成されている。

2. ソフトウェア

ソフトウェアはアナログ/デジタル変換器を起動し、レオメーターからの測定データの取り込みをする部分, 測定データの演算処理の部分, 演算結果を表示・印字する部分, データをフロッピーディスクへ転送して記憶させたり, フロッピーディスクからデータをコンピュータの記憶素子に収納する部分とに分けられる。なお, プロ

グラムは F-BASIC⁶⁾ で作成した。プログラムのフローチャートを Fig. 2 に示す。

(1) レオメーターからのデータの取り込み

レオメーター本体のレコーダー出力端子からのアナログ信号をアナログ/デジタル変換器を用いてデジタル信号に変換し, 測定データとしてコンピュータの記憶素子に収納する。取り込み時間は, プログラムにより調整できるが, レオメーター本体の検出部に使用されているアナログ/デジタル変換器の変換速度が 33 ms であるためソフトウェアの上で取り込み速度をそれ以上に上げても精度は向上しないことになる。そこで本システムではサンプリング時間を 35 ms に設定した。なお, コンピューターに収納される測定データは, 試料を咀嚼する

Fig. 2 Flow chart of computer program for TPA

$F_{\max}$ and $F_{\min}$ refer to the maximum force and the minimum force, respectively.

Table 1 BASIC program of data sampling subroutine

```

2000 REM*** DATA SAMPLING ROUTINE***
2010 REM  ANPORT No. 1 ... Signal
2020 REM  ANPORT No. 2 ... CTRL.
2030 CLS : ZERO=0 : SYMBOL (240, 80), "STANDBY OK?", 2, 1, 5
2040 A$=INKEY$ : IF A$=" " THEN 2040
2050 CLS : SYMBOL (200, 50), "RUN CONTROL START!!", 2, 1, 5
2060 A=ANPORT (1, 1)
2070 IF A<120 THEN 2060
2080 SYMBOL (240, 80), "NOW READING!!", 2, 1, 5
2090 ZELO=ANPORT (0, 1) : RH (0)=ZERO : COUNT 1=0
2100 FOR I=1 TO 5000
2110 B=ANPORT (0, 1) : A=ANPORT (1, 1) : RH (I)=B : COUNT 1=COUNT 1+1
2120 IF A<127 THEN GOTO 2150
2130 NEXT I
2140 SYMBOL (240, 180), "OUT OF MEMORY", 2, 1, 5
2150 SYMBOL (180, 180), "END OF MEASUREMENT", 2, 1, 5
2160 BEEP : FOR J=1 TO 200 : NEXT J : BEEP
2170 RETURN

```

際の力を1g当たり1mVとした場合の電圧値(mV)である。データ取り込み用サブルーチンのプログラムリストをTable 1に示す。

(2) テクスチャー特性値の計算

テクスチャー特性値は、BOURNEらの定義²³⁾に従い hardness, fracturability, cohesiveness, adhesiveness, springiness, stringiness, gumminess, chewiness を求めた。最終的に得られる特性値の単位は、SI単位系であり hardness, fracturability, gumminess はNで、springiness, stringiness はmで、adhesiveness, chewiness はN・mで表記した。なお、本プログラムは等方性のある円筒状試料に単軸圧縮変形を加えることを前提にしており、また測定の日付、試料名、円筒状試料の直径(mm)と高さ(mm)、プランジャーの直径(mm)、圧縮速度(mm/s)などの測定条件はプログラム起動の初期に入力するようになっている。

3. 測定方法

(1) 試料

食品ゲル素材として代表的なゼラチン、寒天、低メトキシルペクチン(LMP)を用いた。ゼラチンは宮城化学工業(株)製、牛骨アルカリ処理ゼラチン M-290を、寒天は伊那食品工業(株)製、粉末寒天 S-7(灰分1.2%)を、そしてペクチンはユニペクチン社製、低メトキシルペクチン RED RIBBON 3G(エステル化度18~30%、アミド化度19~25%)をそれぞれ使用した。

(2) ゲルの調製

予備実験の結果、それぞれのゲル化剤の濃度はデザートゼリーとして好ましいと考えられるゼラチンでは3%、寒天では1%、ペクチンでは2%を用いた⁷⁾⁸⁾。

i) ゼラチン溶液

ゼラチンを定量の蒸留水に30分間膨潤させた後、60℃の温水中で液温40℃で溶解し、水で重量調整を行ない所定濃度(3%)とした。

ii) 寒天溶液

寒天を定量の蒸留水に30分間浸漬膨潤した後、95~100℃で10分間加熱溶解し、重量調整を行ない所定濃度(1%)とした。

iii) ペクチン溶液

定量のペクチンを激しく攪拌している湯温(75℃)内に分散させ、15分間溶解した。凝固剤として塩化カルシウム($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)を一定量のカルシウム濃度(20mg Ca^{2+} /1g ペクチン)になるように添加した後、更に攪拌しながら85~90℃まで加熱しペクチンを完全に溶解させた後、水で重量調整を行ない所定濃度(2%)にした。

以上のようにして調製した3種類のゲル化剤の溶液を直径30mm、高さ20mmの円筒型ガラス管にそれぞれ注入し、5℃に18時間静置して固化させて試料ゲルとした。

(3) テクスチャー特性値の測定

一定温度(5℃)の試料ゲルについて、直径12mmの

円柱状プランジャーを用いて試料台移動速度 1 mm/s, 試料に加える ひずみ率 85% で 2 サイクルの咀嚼を行ない hardness, fracturability, cohesiveness, adhesiveness, springiness, stringiness, gumminess, chewiness を求めた。

(4) 統計処理

手作業解析によって求めたテクスチャー特性値とコンピューター解析によって得られたテクスチャー特性値との相関分析をコンピュータープログラム PFACTR (ACOS システム 1000, ACOS-6 タイムシェアリングライブラリー (TSS/LIB-6), NEC) で行なった。

実験結果および考察

ゼラチンゲル, 寒天ゲル, ペクチンゲルのテクスチャ

Fig. 3 Texture profile curves of gels

A: 3% gelatin gel, B: 1% agar gel
C: 2% low methoxyl pectin gel

ープロファイル曲線は、いずれも脆性破壊型⁹⁾であるが、それぞれのゲルに特有の形を示した (Fig. 3)。すなわち、1 回目の咀嚼における立ち上がり曲線に注目すると、その勾配は寒天ゲル、ペクチンゲル、ゼラチンゲルの順に大きくなっていった。また、ゼラチンゲルでは 1 回目の咀嚼における正の力のピークが 1 個であるのに対し、寒天ゲルおよびペクチンゲルではピークが複数個、観察された。2 回目の咀嚼における曲線については、ゼラチンゲルで正の力のピークが山型の曲線のほぼ中央に位置しているが、他の 2 種類のゲルのピークは右側に片寄っていた。

次に、コンピューター処理によって得られたテクスチャー特性値を Table 2 に示した。ゼラチンゲルについては、hardness の値が他の 2 種のゲルに比べてそれほど大きくないが、cohesiveness は最大であった。また、同ゲルの adhesiveness は他の 2 種類のゲルの場合の約 1/2 の値であった。一方、寒天ゲルでは hardness の値が 3 種のゲルのうちで最大であるが、cohesiveness の値は反対に最小であった。ペクチンゲルでは hardness の値が最小であったのに対し、cohesiveness の値はゼラチンゲルに次いで大きかった。

以上の結果から、ゼラチンゲルには、しなやかで弾力性のあるゲル特性があり、寒天ゲルには硬く、脆いゲル特性があり、ペクチンゲルには、やわらかく粘りのあるゲル特性があることが把握できた。

本プログラムにおいて、レオメーターからのデータのコンピューターへのサンプリング速度を 35 ms/1 データに設定したが、Fig. 3 や Table 2 からわかるように、食品ゲル化剤として代表的な 3 種類のゲルのテクスチャー特性を良く把握できたことから、TPA としては十分な高速であると考えられる。また、テクスチャー特性値のコンピューターによる解析処理時間は 1 データファイル (2400 データ) 当たり 2 分間であり、しかも、解析の

Table 2 Textural properties of gels

Sample	Hard. (N)	Fract. (N)	Cohes.	Adhes. (N·m)	Spring. (m)	String. (m)	Gumm. (N)	Chew. (N·m)
					$\times 10^{-2}$	$\times 10^{-2}$		$\times 10^{-2}$
Gelatin*	2.88	2.88	0.53	0.49	1.39	1.26	1.52	1.92
Agar**	5.59	5.59	0.22	1.26	1.63	1.68	1.23	2.02
LMP***	1.61	1.61	0.41	1.32	1.64	1.65	0.66	1.09

Hard.: Hardness, Fract.: Fracturability, Cohes.: Cohesiveness, Adhes.: Adhesiveness, Spring.: Springiness, String.: Stringiness, Gumm.: Gumminess, Chew.: Chewiness

* 3% (w/w) gel, ** 1% (w/w) gel, *** 2% (w/w) low methoxyl pectin gel (prepared with addition 20mg of Ca/g of pectin).

バッチ処理（データ作成のち、一定量あるいは一定期間まとめて処理すること）が可能で、分析操作の省力化と迅速化がはかれることが明らかになった。なお1枚のディスクettには19データファイルが記録される。しかしながら、第1回目の咀嚼時において、最初に曲線がはっきりと折れ曲がった時の力と定義される *fracturability* については、コンピューターによる判定よりも人間による判断の方が正確かつ、迅速なのでコンピューター処理を行なわなかった。

次に、コンピューター解析の妥当性を検討するため、Fig. 3と同様の実験を繰り返し、ペンレコーダーによるアナログ記録とコンピューターによるデジタルデータについて、手作業解析とコンピューター解析を行なった。その結果、手作業解析とコンピューター解析との間に極めて高い相関関係 ($r=0.99$) が認められたことから、テクスチャー特性値のコンピューター解析は、十分実用に供しうるものと考えられた。

本システムで使用したパーソナルコンピューターおよびレオメーター内蔵のアナログ/デジタル変換器の分解能は、それぞれ1/256および1/4096であり、また変換速度はそれぞれ5 ms および33 ms であり、TPA用としては十分の性能である。しかし、タイムスケールの短かい緩和現象を伴う微小変形領域におけるレオロジー特性、例えば応力緩和やクリープなどの解析用としては、分解能不足あるいは変換速度不足であり、変換精度12ビット、変換速度25 μ s 程度の高速アナログ/デジタル変換器の使用が望まれる。ところで、パーソナルコンピューターの大きな特徴の一つは、処理すべき研究分野に精通する研究者が若干のプログラミングの知識で、独自のプログラムを作成できることである。したがって、本システムにおいてもプログラム中に統計解析のサブルーチンを組み込めばデータの統計処理も可能である。しかも本システムの基本は、測定機器の出力するアナログ信号を測定のタイムスケールに合致した速度で、デジタル信号に変換してコンピューターに入力し演算処理を行なうというものである。したがって、アナログ/デジタル変換速度および変換精度をコントロールすれば、レオメーター以外の測定機器との組み合わせも可能であり、応用範囲は極めて広いと考えられる。

要 約

テクスチャープロファイル分析 (TPA) のためのパーソナルコンピューター接続型レオメトリシステムと解析処理プログラムを開発し、その実用性について検討した。レオメーターからコンピューターへのデータのサンプリング速度は35 ms で、テクスチャー特性値の解析処理時間は1データファイル (2400データ) 当たり2分間であった。また、測定データの記録が行なえるのでテクスチャー特性解析のバッチ処理 (データファイル作成後の一括処理) が可能であった。更に3%ゼラチンゲル、1%寒天ゲル、2%低メトキシルペクチン (LMP) ゲルを用いた TPA において、コンピューター解析と従来からの手作業解析との間に良好な相関関係 ($r=0.99$) が得られたことから、本システムは十分実用に耐えうるとともに、分析操作の省力化と迅速化に役立つことが明らかとなった。

装置の製作に便宜をはかっていただいた株式会社 山電、また試料を御提供いただいた宮城化学工業株式会社、伊那食品工業株式会社ならびに青葉化成株式会社の御好意に感謝します。本報告の概要は、日本商品学会第34回全国大会 (昭和58年度) において報告した。

なお、本稿のシステムおよびプログラムの詳細に関しては、筆者まで照会されたい。

文 献

- 1) SZCZESNIAK, A. S., BRANDT, M. A., and FRIEDMAN, H. H.: *J. Food Sci.*, **28**, 397 (1963).
- 2) BOURNE, M. C.: *J. Food Sci.*, **33**, 223 (1968).
- 3) BOURNE, M. C.: *J. Can. Inst. Food Sci. Technol.*, **7**, 11 (1974).
- 4) BOURNE, M. C., KENNY, J. F. and BARNARD, J.: *J. Texture Studies*, **9**, 481 (1978).
- 5) RE-3305 取扱説明書, 株式会社 山電.
- 6) F-BASIC 文法書, 81 SM-000010-1, 富士通株式会社.
- 7) 村山篤子・川端晶子: 家政誌, **31**, 475 (1980).
- 8) 川端晶子・澤山 茂・永島伸浩・内村佳子: 家政誌, **33**, 633 (1982).
- 9) 岡部 巍: 食品工業, **12** (下), 64 (1979).

(昭和58年5月30日受理)