講演要旨

第11年会シンポジウム
「レオロジーの応用」

Mechanical Properties of Food Gels

by

Nobuko NAKAHAMA

Japan Women's University
2-8-1 Mejirodai, Bunkyo, Tokyo 112

食品ゲルの力学的性質

中 浜 信 子*

(1984年5月25日, 京都)

多くの食品はゲル成分を含み、食品の組織、形態およびテクスチャーを形成している。食品ゲルは極めて多量の水分を含みながら形を保ち、それぞれ独特の力学的性質を示す興味ある対象である。寒天、でんぷん、ペクチン、マンナンなどの多糖類、卵白、ゼラチン、大豆たん白、グルテンなどのたん白質はいずれも優れたゲル形成能を持ち、多数のレオロジー的性質や、それに関連する性状が調べられてきた。これら食品ゲルの研究は、

- 1) それ自身、食品素材として重要であり、その性状を解明することに意義があるばかりでなく、
- 2) 食品のテクスチャー改良のため有効であり、
- 3) わずかな添加物や調理加工の方法により、その性状を異にするので、それらに関する知見を得ることが望まれる。更に、
- 4) かなり複雑な一般食品のレオロジー的性質を解明するためのモデル系の研究としても、重要な意味を持つものであると考える。

食品ゲルの力学的性質は、ゼリー強度やテクスチャー特性値などにより客観評価がなされている場合が多いが、ここでは私どもの研究室で実験して来た研究を中心に、食品ゲルのレオロジー的研究の一端を紹介したい。主として食品ゲルのレオロジー的測定法、静的粘弾性、動的粘弾性、大変形・破断特性などについて述べたいと思う。

1. 食品ゲルのレオロジー的測定法

食品のレオロジー的機器測定法として、Scott Blair¹⁾は1) 基礎的方法、2) 経験的方法、3) 模擬的方法の三つの方法に分類できるとしている。経験的方法、模擬的方法ははっきりとした力学的定

数として定義づけられないが、品質管理、品質評価のための重要な特性値を得る方法である。食品ゲルのレオロジー的性質を、できるだけはっきりとした力学的定数として求めるためには、基礎的方法が用いられている。クリープ測定、応力緩和測定、動的粘弾性測定、応力-ひずみ測定などが、しばしば用いられている。扱われる食品ゲルは主に弾性率 $10^3 \sim 10^7$ dyn/cm²、破断応力 $10^3 \sim 10^7$ dyn/cm² 程度のものである。ひずみの形式は伸張、圧縮、ずりの変形方式がとられる。小麦粉ドウやグルテンゲルなど、水銀浴に浮かせて測定する方法²⁾や、測定中のゲルの離漿や、乾燥、自重による変形の防止の目的で、シリコンオイルや流動パラフィン浴中で測定する方法^{3), 4)}もとられる。

2. 食品ゲルの静的粘弾性

食品ゲルの粘弾性は10~15%のひずみ範囲で線形性が認められるので、この範囲でクリープ測定や応力緩和測定がなされている。寒天ゲル^{5)~7)}、卵白ゲル^{6)~8)}、大豆たん白ゲル^{6), 7)}、でんぷんゲル⁹⁾、ペクチンゲル^{10), 11)}などのクリープ曲線が得られ、4要素または6要素のフォークト型模型によって解析され、粘弾性定数が得られている。これらのゲルは濃度、温度などにより、その挙動もやや異なるが、いずれも瞬間弾性部のひずみが大である。寒天ゲルでは定常流動のひずみが比較的大であり、でんぷんゲルでは瞬間弾性部が主体であり、大豆たん白ゲルでは遅延変形部が比較的大である。

応力緩和曲線も4要素から7要素のマックスウェル型模型により解析されている^{2), 7), 12)~20)}。最長緩和時間を持つマックスウェル要素の弾性率によって、ゲルの主要な3次元網目構造のしなやかさが比較できると言われている^{15), 19)}。

クリープ曲線から求めたフォークト型模型の粘弾性定数と、応

* 日本女子大学 〒112 東京都文京区目白台2-8-1

力緩和曲線から求めたマックスウェル型模型の粘弾性定数は、同数個の要素の模型と等価に、相互に換算できる。このことから同一試料ゲルについて、同時に測定を行い、相互に換算し、互いにかなり一致することを確かめた⁷⁾。

3. 食品ゲルの動的粘弾性

食品ゲルのレオロジー的測定の中で、短時間で測定でき、試料に与える影響の少ない動的粘弾性測定は、極めて魅力的な測定方法である。従来、測定装置がかなり高価であったことから、食品ゲルへの利用は限定されていた。しかし、近年、食品ゲルのための動的粘弾性測定装置が比較的安価に試作・実用化され^{3),4)}、動的方法が食品ゲルの研究に利用されつつある。この装置は周波数2.0Hz、振幅 $\pm 100\mu\text{m}$ と限定されているが、直接動的粘弾性定数 E' および E'' を得るものである。寒天ゲル、卵白ゲル、大豆たん白ゲルについて測定し、静的粘弾性と比較した²⁰⁾。短時間で測定可能なことから、食品ゲルの温度変化や放置時間による影響、添加物の影響²¹⁾、混合ゲル²²⁾などについても研究されている。

寒天ゲルの動的弾性率の10~60°Cの間の温度依存性を求め、30~40°Cに極大を持つ比較的变化の少ない山型の挙動が得られている²³⁾。50°C以上になると、やや弾性率を減ずる。これは寒天ゲルが本質的にはエントロピー弾性であるが、その弾性の由来する架橋点が水素結合などの弱い結合であり、エントロピー的挙動が二次結合の消滅により消されるためであると考えられる。なお、コンニャクマンナンアルカリゲルについては、エントロピー的弾性が認められている^{24),25)}。

4. 食品ゲルの大変形・破断特性

食品ゲルの大変形・破断現象についての理論的解析は、まだ行われているとは言えない。しかし、食品ゲルとして大変形、破断特性は重要な性質であり、古くからゼリー強度や侵入度といった実用測定がなされて来た。破断現象は極めて確率的であり、形状効果や体積効果に支配されることが知られている。寒天ゲルについてクリープ破断の確率的試験を行い、平均破断応力に対し変動率が20%に及ぶことが認められた²⁶⁾。定速圧縮破断応力の変動率は数%であった。また、定速圧縮の破断応力・破断エネルギーは圧縮速度の増大により著しく増大した。しかし、破断ひずみの変化は少なかった²⁷⁾。破断ひずみは寒天ゲルでは28~35%、卵白ゲル60%、大豆たん白ゲルで70~90%で、それぞれ濃度や圧縮速度で変動はあるが、各食品ゲルについて固有の数値を示している。

食品ゲルの弾性率、破断応力などは、それぞれ濃度が増加するに従い増大する。弾性率の大きい寒天ゲルが破断応力は小さく、弾性率の小さいゼラチンゲルが破断応力は大きい²⁸⁾など、粘弾性定数と破断特性を併せて示すと、実際のゲルのテクスチャーの感覚とよく対応している。大変形・破断現象についての定量的な扱いが更に進めば、食品の製造加工・調理過程のレオロジー的品質管理、品質評価も一層有効なものになると考えられる。

以上食品ゲルの静的粘弾性、動的粘弾性、破断特性などについて

て、実験結果の一部を紹介した。実際の食品はかなり複雑な分散系のものも多く、油滴の分散や気泡の分散²⁹⁾、混合ゲル²²⁾の粘弾性挙動、また添加物、pHの影響など、モデル系の実験の積み重ねから、実際の食品のレオロジー特性を解明する手掛かりが得られ、更にレオロジーの食品への有効な利用が可能になって行くことを期待したい。

文 献

- 1) G.W. Scott Blair : *Adv. Food Res.*, **8**, 1 (1958).
- 2) 松本幸雄, 片山幸二, 米沢大造 : 日本レオロジー学会誌, **2**, 63 (1974).
- 3) K. Nishinari and H. Horiuchi : *Japan. J. Appl. Phys.*, **16**, 1127 (1977).
- 4) 西成勝好, 堀内久弥, 石田勝己, 池田勝則, 伊達宗宏, 深田栄一 : 日食工誌, **27**, 227 (1980).
- 5) 中浜信子 : 家政誌, **17**, 197 (1966).
- 6) 桑畑美沙子, 中浜信子 : 農化, **49**, 129 (1975).
- 7) 磯崎初恵, 赤羽ひろ, 中浜信子 : 農化, **50**, 265 (1976).
- 8) 中浜信子, 前田フミ子, 鯨井誠子 : 家政誌, **18**, 365 (1967).
- 9) 中浜信子, 山本誠子, 茂木美智子 : 家政誌, **22**, 302 (1971).
- 10) E.L. Watson : *J. Food Sci.*, **31**, 373 (1966).
- 11) 川端晶子, 沢山 茂 : 農化, **50**, 555 (1976).
- 12) K. Arakawa : *Bull. Chem. Soc. Japan*, **33**, 1568 (1960).
- 13) K. Arakawa : *Bull. Chem. Soc. Japan*, **34**, 1233 (1961).
- 14) K. Arakawa : *Bull. Chem. Soc. Japan*, **35**, 309 (1962).
- 15) M. Watase and K. Arakawa : *Bull. Chem. Soc. Japan*, **40**, 472 (1967).
- 16) M. Watase and K. Arakawa : *Bull. Chem. Soc. Japan*, **41**, 1830 (1968).
- 17) 渡瀬峰男 : 日食工誌, **20**, 104 (1973).
- 18) 渡瀬峰男, 荒川泓 : 日化誌, **1**, 37 (1971).
- 19) Y. Sato and T. Nakayama : *J. Texture Studies*, **1**, 309 (1970).
- 20) 小林三智子, 赤羽ひろ, 中浜信子 : 家政誌, **32**, 660 (1981).
- 21) M. Watase and K. Nishinari : *J. Texture Studies*, **12**, 427 (1981).
- 22) H. Moritaka, K. Nishinari and H. Horiuchi : *J. Texture Studies*, **11**, 257 (1980).
- 23) 名倉秀子, 赤羽ひろ, 中浜信子 : 日食工誌, **31**, 339 (1984).
- 24) 平井西夫 : 日化誌, **73**, 65 (1952).
- 25) 渡瀬峰男 : 日食工誌, **22**, 485 (1975).
- 26) 上市康子, 大村公仁子, 赤羽ひろ, 中浜信子 : 家政誌, **31**, 643 (1980).
- 27) 大村公仁子, 赤羽ひろ, 中浜信子 : 家政誌, **29**, 22 (1978).
- 28) H. Kimura, S. Moritaka and M. Misaki : *J. Food Sci.*, **38**, 668 (1973).
- 29) 椎木靖彦, 矢野俊正 : 第10回食品の物性に関するシンポジウム講演要旨集 (1983).