[*J. Appl. Glycosci.*, Vol. 49, No. 3, p. 319–325 (2002)]

解 説

高齢者社会における段階的な摂食・嚥下訓練食の開発*

渡瀬峰男

食品ゲル研究所 (435-0028 浜松市飯田町 894-1)

Research on Development for Diets of Patients with Dysphagia in Aged Society*

Mineo Watase

Research Institute of Food Gels (894-1, Iidacho, Hamamatsu 435-0028, Japan)

Dynamic viscoelastic measurements and functional tests were carried out for diets of patients with dysphagia. Both storage and loss shear moduli G' and G'' for diets of patients with dysphagia were strongly frequency dependent. Frequency was changed from 0.01 to 2 Hz. It is believed at present that a dominant factor governing the mechanics of gelation of polysaccharide gels is the balance between the hydrophilic and hydrophobic properties of the molecule of polysaccharides, or the balance between the affinity to water and the tendency toward formation of microcrystalline structure in polysaccharide molecules.

わが国では、どの国よりも急速な高齢化が進行しており、将来は最も高齢化率の高い国になることは確実である。また、21世紀半ばには、先進国や発展途上国に無関係に地球全体が高齢者社会に入るといわれている。高齢化が高くなると、高齢化の急速なスピードに伴って後期高齢者が急増するとみられる。後期高齢者が急増することは、寝たきりや痴呆になる率が高まるため、2025年の要介護老人は現在の約2.6倍の520万人になると推定されている。

このような背景のなかで、すでに少子化などによる家族の小規模化、共働き世帯の増加、高齢者世帯の増加など世帯構成の急激な変化が起こってきている。厚生労働省が発表した国民生活基礎調査によると高齢者世帯は626万を突破して25年前の約6倍に増加している。これらは、社会保障の重要性をさらに高める一方、少子化の進行に伴う現役世代の減少で、医療や介護負担増など種々の方面に及ぼす影響は大きく、将来わが国にとって最も重大な制約条件となるであろう。

将来、高齢者社会における摂食・嚥下困難者の増加が予想される。そのため、筆者は摂食・嚥下訓練食を

以下のように四つに区別して考察する。第一に、嚥下訓練食が生命の危険につながったり、あるいは苦痛になったりしないこと。これらは、嚥下開始食の調理・加工および段階的な訓練食の移行を注意することで避けられると思われる。そのために、ゲル形成物質のしっかりとした品質管理が重要である。

第二に、嚥下食は訓練食であること。つまり、段階的な訓練食であり、訓練食のリハビリテーションであること。つまり食事に目標をもたせることは食事を楽しむことである。

第三に、摂食（食べること）を考慮して調理・加工することは、常に排泄のことも同様に考えることである。

第四に、嚥下訓練食は咀嚼訓練食でもある。加齢とともに歯の喪失は避けられない。歯の喪失は咀嚼機能を低下させる。その結果、脳に悪影響を与えるといわれている。従って、咀嚼機能が低下すると、嚥下機能も低下するといわれている。つまり、咀嚼と嚥下は連関しており、咀嚼が困難になれば嚥下も困難になる。嚥下困難者は仮性球麻痺で食品の丸呑み込みを特徴としているが、嚥下反射（ゴクンができる）が残っている。この場合、嚥下開始食からスタートする。嚥下困難者に対する嚥下開始食はほとんど咀嚼しないで、咽

*本解説は平成13年度東日本支部シンポジウムで講演されたものを読みやすく解説にまとめられたものです。

頭内を1秒以内にスムーズに通過できることが不可欠である。このような機能特性をもつ嚥下開始食の基盤はゲル状態であり、そのゲル状態のレオロジー的性質は厳しい条件に設定される。これらは、嚥下開始食の品質管理をしっかりとしないと、食塊が咽頭内で詰まったり、気管に入るなど生命の危険につながる。そのため、食事が苦痛になったりしないために、嚥下開始食に対する性質の基準が厳しいことが望ましい。つまり、嚥下開始食の基準設定をしっかりとすることによって上記の危険性が避けられ、嚥下訓練食をスムーズに進行させることができる。

蛋白質系の豆腐、肉、魚製品などや炭水化物系のご飯、めん類など、また、脂肪系のマーガリン、バターなどほとんどの食品は広い意味でゲル状態といえる。ところてん、豆腐、かまぼこ、はんぺんなど日本の食文化から多数のテクスチャー表現用語が使用されてきた。これらのゲル食品が口腔内で咀嚼され咽頭内をスムーズに通過するためには、これらの食塊の変形や流動の挙動を調べなくてはならない。これらを調べるためには食塊のレオロジー的性質の研究が有効である¹⁻¹²⁾。口腔内や咽頭内でひき起こされる感覚特性が物理的性質であれば動的粘弾性測定によって多面的な側面から考察される。物理的測定の特徴は食品（ここでは嚥下食）の性質を再現よく測定できることである。これらの測定法が多面的な角度から迅速で、かつ再現よく測定することによって、しっかりとした品質管理が可能となる。これらをX線造影検査（VF）、内視鏡観察（VE）や官能検査などと平行して行くと、物理測定との関係が明白になる。そのため、煩わしいVF、VEや官能検査をしなくとも、必要な嚥下訓練食を物理的測定から調理・加工することが可能である。

厳しい条件に設定されたゲル状嚥下開始食の性質は食材の添加によって、ゲル構造が変化したり、ゲルの均質性などが失われるおそれがあるため、ほとんどの嚥下開始食は水分補給用に限られる。次の訓練食に移行する準備として食材の種類および添加量がゲル構造に与える影響を調べておく。嚥下開始食の調理・加工が可能になったら、次に味、香り、喫食温度などを考慮する。

食事の基本は安全で美味しいことである。そして、摂食・嚥下訓練食（老人食）の基本は食事は楽しく、苦痛ではないこと。さらに老人食は多種少量である。これらを追求することが、摂食・嚥下訓練食の調理・加工のヒントとなる。

ゲル状嚥下開始食の調理・加工に対する テクスチャーなどの必須条件

嚥下障害が強く出現している高齢者は嚥下開始食を始めることが可能か、専門医によるVFやVEが必要である。その結果、嚥下開始食を始めることが可能になると、嚥下反射を誘発するための口腔内などの粘膜表面をアイスマッサージする¹³⁾。そして、段階的な嚥下訓練食の調理・加工に入ることになる。嚥下障害の強く出現している高齢者は嚥下に関する筋肉の運動性の低下と筋力の低下などにより、口唇での食物の取込みが悪かったり、食物が口唇からこぼれたり、あるいは咀嚼がうまくいかなかったりするといわれている。しかし、嚥下反射（ゴクンができる）が残っている。これらに該当する高齢者は嚥下反射の誘発が弱い¹¹⁻¹³⁾ため、ほとんど咀嚼しないで嚥下する¹¹⁻¹³⁾。

従って、口唇から取り入れた嚥下開始食はほとんど咀嚼しないで奥舌に送り込まれる。その後、嚥下開始食は咽頭内に送り込まれるが、嚥下反射の誘発が弱い¹¹⁻¹³⁾ため、咽頭内を1秒以内にスムーズに通過できるように調理・加工を工夫しなければならない。嚥下開始食が咽頭内を大変形をして食道に送り込まれるとき、食塊（嚥下開始食）がべたついたり、バサついたりすると、咽頭に詰まったり、気管に入り誤嚥を起こす危険がある。小さな応力で大変形をして食道に送り込まれるためには、嚥下開始食が弱いゲル状態であることが不可欠である^{11,12)}。これらのゲルは均質性であり、さらに溶媒の水が均一に分布した状態にあり、ゲルの硬さと軟らかさなどの値が厳しく制限される。これらは上述した条件を満たしていることが不可欠である¹⁻¹²⁾。

さらに、咽頭内をスムーズに通過するために、食塊の機能特性、喫食温度と水の特異な性質など、嚥下開始食に与える影響が無視できないため調理・加工において十分に注意する。

以上のことは、図1(a)および(b)から明らかである。図1(a)では、食塊が奥舌に送り込まれると、嚥下反射が誘発されて咽頭へ送り込まれる。図1(b)では、食塊が咽頭内を全体に密着して1秒以内に食道に送り込まれる。これがスムーズに行かないと、「むせ」や「誤嚥」などが起こる。嚥下開始食が咽頭内を変形して食道に送り込まれる場合、上述したように、これらのレオロジー的性質（変形と流動の挙動）を調べておくことが品質管理するうえに不可欠である⁸⁻¹²⁾。

嚥下開始食の調理・加工に 動的粘弾性測定がなぜ有効か

嚥下障害が強く出現している高齢者は食品がほとんど咀嚼できず、嚥下反射の誘発も弱い。そのため、咽頭内をスムーズに通過しやすい嚥下開始食を調理・加工しなければならない。従って、嚥下開始食に最適な条件が弱いゲル状態である。この状態よりも柔らかくなると咽頭内で付着性が残り、逆に硬くなると詰まる危険性がある¹⁻¹²⁾。

ゲル状態は固体と液体の中間の状態を意味している。また、ゲルは多量の液体を含有し、自重では流れず、型を保っている。われわれはほとんど食品をゲル状態で摂取している。つまり、ほとんどの食品は粘弾性体であるといえる。嚥下開始食は三次元網目構造がまだ十分に進行していない弱いゲル状態である¹⁻¹²⁾。例えば、ゼラチンや寒天は典型的な熱可逆性ゲルである。両者のゲル-ゾル転移はゲルの結晶性と非晶性の一定の均衡関係によって説明することができる^{14,15)}。

両者の温度を上げていくと、架橋点が切れて一定の均衡関係は結晶性から非晶性の方向へ移動する。即ち、ゾルの方向へ移動する。しかし、温度を下げていくと、分子鎖間の凝集によって架橋点が増加し、結晶性が増大する方向に移動する(図2を参照)。また、ゲル状嚥下食は均質性、刺激強度や咀嚼回数などによって唾液量が変わる。これらは咀嚼などによって嚥下し易い食塊形成などに影響されるが、それよりも嚥下反射を誘発する影響の方が大きいとみられる。

しかし、嚥下開始食や次の段階の嚥下食1に該当する高齢者は丸呑み込みを特徴としているため嚥下反射の誘発が弱く咽頭内をスムーズに通過しやすい性質の嚥下食を調理・加工することや、口腔内で嚥下反射を誘

発し易いように工夫することが大切である。これらの嚥下開始食および嚥下食1は口腔内や咽頭内の皮膚や筋肉感覚で知覚される物理的性質が重要になる。従って、ゲル状態の硬さや軟らかさの割合などが定量的に迅速で、再現性のよい測定法が必要である。

いま、嚥下開始食に周期的な外力を与えると、それに対応する応力や変形も周期的に変化する。このとき、変形と応力はずれて出現する。弾性を表す基本法則がフックの法則であり、応力 p が変形量 e に正比例する。この場合の弾性率は複素数で表現される。

$$p = G^* e \quad (1)$$

式(1)を実数部と虚数部にわけて表現すると

$$G^* = G' + iG'' \quad (2)$$

G'' は複素弾性率と呼ばれる。実数部 G' はエネルギーの貯蔵に関する部分で貯蔵弾性率であり、虚数部 G'' は粘性によるエネルギー損失に関する部分で動的損失である。ゲル状嚥下食中の硬い部分と軟らかな部分の比を表すとみられる損失正接 $\tan\delta$ は G''/G' で表される。また、 G' と $\tan\delta$ の値および周波数に対する勾配から嚥下食のゾル状態およびゲル状態の性質に対する知見が種々の側面から得られる。図3から明らかなようにゾル状態からゲル状態に移動していくと G' の値は増大していき、周波数に対する勾配が緩慢になっていく^{1,2)}。

Fig. 1. Swallowing in pharynx (a) (or swallowing reflex (b)).

a, soft palate; b, tongue; c, food; d, laryngeal lid;
e, windpipe; f, glottis; g, esophagus.

Fig. 2. Sol-gel transition of polysaccharides.

Fig. 3. Frequency dependence for storage modulus G' and loss tangent of sol-gel conditions.

一方、 $\tan\delta$ の値と周波数に対する勾配は G' の場合と逆の傾向を示す(図3を参照)。 G' および $\tan\delta$ の値と周波数に対する勾配からゲル状態の知見が得られる¹⁻¹²⁾。

これらの値はVFやVEばかりではなく、官能試験においても相関関係にある⁵⁻¹²⁾。動的粘弾性装置は高価である欠点を除けば、迅速で、かつ再現性があり、多くの知見が得られるため、嚥下訓練食の詳細な分類に適しており、品質管理に重要である⁸⁻¹²⁾。ゲル形成物質は天然物のため製造番号が変わると物性(レオロジー的性質)も変わる。そのため、品質管理が極めて重要であるため、徹底した品質管理をすることにより、嚥下訓練食によって起こる生命に対する危険性の度合いが減少する。また、複素粘性率から動的粘性率が求められる。これらも G' や $\tan\delta$ と同様に考察されるが、ここでは省略する。

摂食・嚥下困難者の リハビリテーションの重要性

高齢者は加齢とともに咀嚼や嚥下などが困難になってくるため、高齢化が急激に進行すると、後期高齢者の摂食・嚥下困難者も急増するとみられる。しかし、後期高齢者の摂食・嚥下障害の程度は広汎におよぶため、摂食・嚥下訓練食による段階的なリハビリテーションが不可欠である。ここで、嚥下訓練食を以下の順序にしたがって段階的に解説をすると、嚥下反射が保たれているが随意的には誘発しにくい困難者が嚥下開始食に該当する。この嚥下困難者は食事をする前に嚥下反射を誘発するために口腔内などの粘膜表面をアイスマッサージをする。

嚥下開始食に該当する困難者の多くは食塊を「丸吞

み込み」をすることが特徴である。嚥下反射の誘発と咀嚼は連関性があり、嚥下反射の誘発が弱いことは、咀嚼も同様に弱いとみられる。従って、嚥下開始食は口腔内で咀嚼する過程で分泌される唾液はほとんど期待できない。唾液の役割は嚥下開始食の物理的性質に影響を与え、さらに嚥下などを容易にする。嚥下開始食は口腔内において、テクスチャーなどの知覚がほとんど期待できないため、食塊は奥舌に送り込まれ、嚥下反射を誘発後、咽頭内を1秒以内(コックンと吞み込むで食道に送り込む時間)にスムーズに通過することが可能なゲル状態の基盤に対する嚥下開始食を調理・加工しなければならない。この条件を満たすゲル状態は限られており、この段階での物理的測定による品質管理が極めて重要である。嚥下開始食から次の段階の嚥下食1に移る基準を定める。次に段階のハードルは低いほどよい。嚥下開始食から嚥下食1への段階的な移行がうまくいかないと咽頭内で食塊が詰まったり、あるいは食塊が誤って気管に入って「誤嚥」などになる。

これらは生命の危険につながるため十分に注意しなければならない。この危険性は嚥下開始食から訓練食の段階的な移行がうまくいかないと起こる確率が高い。これらがスムーズにいかないと食事が苦痛になり、嚥下訓練食のリハビリテーションが失敗に終わる。

従って、これをしっかりと行えば生命の危険につながる確率は低くなる。21世紀は世界的に高齢者社会を迎えるため、上記のことは乗り越えなくてはならない。

嚥下開始食および嚥下食1の調理・加工には、ゲル状基盤の性質に最も注意しなければならない。そして、嚥下食2、嚥下食3、嚥下食4と段階的に進めていく。また、嚥下訓練食の段階的な移行は、咀嚼訓練、摂食量の増加による栄養の改善や排泄の改善などに連関していることである(図4を参照)。やがて、嚥下訓練食から移行食に、そして常用食に移行していく(図4を参照)。さらに、これらを物性の側面からみた場合においても、段階的な訓練につれて軟らかさ(図4における矢印Aの方向)と硬さ(図4における矢印Bの方向)が増大する方向に進む。

以上のことは、嚥下訓練食の種類や摂食量の増加へとつながるのである。

例えば、嚥下開始食から嚥下食4における5段階の訓練食を重湯ゼリーから全粥で記述すると、これらの段階的な変化は粥を粒状が残らない(ミキサー使用)

Fig. 4. Changes of loss tangent for diets of patients with dysphagia.

ように均質にするか、上新粉（酸化していない）を用いて均質なゲルをつくる。これらとゲル形成物質の濃度を変えて調整すると嚥下訓練食が調理・加工できる。次の段階的の移行は、厳しい基準を決めて慎重に行うほど危険性は少なくなる。

以上、簡単に記述したが、筆者がこれまでに嚥下訓練食の物性の側面から取り組んで得られた結果である。筆者は摂食・嚥下訓練食と排泄の連関性を3次的に考察し、これを「老人食」と呼び、物性の側面から検討している。これらの必要性は高齢者の摂食・嚥下困難者（広い意味で老人食）に対する障害の程度からみた場合でもあまりにも広範囲におよぶからである。

現在、市販されている多くの嚥下食は、軟らかであるとか、パサつきがないとか、べたつきがないという嚥下食が加工されている。

これらは上記の問題点を解決していない。

これらを、筆者は1次的な嚥下食と呼んでいる。さらに、嚥下訓練食は2次的な嚥下食と呼んでいる。摂食・嚥下訓練食を排泄問題と連関させて考察すると老人食は3次的に拡大していくのである。

嚥下開始食の基盤に向く ゼラチンゲルの機能特性

工業的ゼラチン製造法は酸性法とアルカリ性法がある。多くの場合アルカリ法ゼラチンの等イオン点(pI)はpH 4.8-5.1の範囲にあり、酸性法ゼラチンのpIはpH 8.5-9.3の範囲にある。ゼラチンを嚥下食品の基盤に使用する場合、添加する食材によってコアセルベーションを起こす危険性があるため、使用するpIに注意しなければならない。

ゼラチンゲルの機能特性は、(1)ゼラチンゲルは0-15℃の温度範囲ではほぼ一定構造を有しているが、温度が18℃に達するとゲルの内部融解が生じ、30℃

付近でゾルとなる¹⁴⁻²⁰。(2)ゲルを設定温度に達するまでに要する時間は他のゲルよりも長い。これらの機能特性は口腔に取り込まれてから、咽頭内を通過するとき、食塊の表面と内部に温度勾配が生ずる^{1,11,12}。これは嚥下をスムーズに行うための機能特性である。これらの状態のゼラチンゲルは複雑な咽頭内の皮膚など全体に接し、大変形をして食道に送り込まれる。嚥下反射（ゴクンと吞み込むで咽頭を通過する速度は僅か1秒以下である）がうまくいかないと「むせ」や「誤嚥」などが起こる。これらをスムーズにする要因は上記のほかにゲルの硬さと軟らかさ、さらに両者のバランスが重要な役割をなしている。

ゼラチンゲルが嚥下開始食に適する要因に溶媒である水の性質を忘れてはならない。水は体温よりも20-25℃低い温度が美味しい水の適温といわれている。嚥下困難者はガーゼを巻いた氷水につけたアイス棒で口腔内を刺激して摂食すると効果的であるといわれている。約10℃の水の刺激効果によって、嚥下反射の誘発を起こすことが主たる要因とみられる。つまり、嚥下開始食の喫食温度はほぼ10℃である¹³。

嚥下訓練食に向く ゲル形成物質の構造と機能特性

嚥下訓練食において、嚥下開始食から嚥下食1あたりまではゲル状の基盤に対する性質が重要である。これらは嚥下反射後、咽頭内をスムーズに通過させるために不可欠である。嚥下反射にはゲル形成物質の構造、性質、ミネラル、濃度や温度なども影響する。ここでは紙面の関係で、ゼラチン、キサンタン-ガラクトマンナン混合系および架橋型α化澱粉について紹介する。

1. ゼラチン²¹⁾

ゼラチンの親物質はコラーゲンである。コラーゲンのアミノ酸組成はグリシンが非常に多く全体の約1/3を占め、ピロリジン環をもつプロリンやヒドロキシプロリンが多くチロジンやメチオニンが少ない。トロポコラーゲンの構造と性質についてはすでに明らかにされている。トロポコラーゲンは3本のポリペプチド鎖が互いにねじりあって、らせんをつくりポリペプチド鎖間に水素結合が形成されている。

ゼラチンゲルはコラーゲンからの誘導たんぱく質である。ゼラチンゲルが嚥下開始食や嚥下食1の基盤に適する条件は上述したように(a)喫食温度がゼラチンゲルの3次元網目構造が安定な温度範囲である。(b)ゼラチンゲルが口腔内および咽頭内を通過すると

き、嚥下に対して好都合の機能特性を有している。咽頭内を通過するゼラチンゲル表面は体温によって融解されて水の膜が形成されているため咽頭内の皮膚表面を滑り易くする。

さらにゼラチンゲルが大変形をして咽頭内を通過するためには G' が約 10 Pa, $\tan\delta$ が約 0.5 (10–15°C) のときである。これらの値を示すゼラチンゲルは約 1–2 % である^{1, 11, 12}。さらに、ゲル中の温度勾配により食塊が咽頭内の痰や唾液（これらは嚥下を阻害するといわれている）を物理的に除去するとみられる。ゼラチンゲルを嚥下開始食に使用する場合の欠点は 18°C 以上に長時間放置しないことである。

2. キサンタンガム–ガラクトマンナン混合系^{22–24)}

キサンタンガム (Xan と略記) は微生物 *Xanthomonas campestris* により産生される多糖類である。Xan はマンノース、グルコース、グルクロン酸の構成糖からなり、主鎖は β -1,4 グルコシド結合からなる。側鎖は主鎖のグルコースが一つのグルクロン酸の鎖が結合している。また、末端のマンノースは C4 と C6 の位置でピルビン酸がアセタールで結合している。Xan 水溶液は低濃度で弱いゲルを形成する。ゲルのレオロジー的性質はゼラチンゲルに類似する。Xan にローカストビーンガム (以下 Loc と略記) を添加していくと、Loc の添加量の増加とともに、 G' は増大する傾向を示すが、 $\tan\delta$ は逆に減少する傾向を示す。Xan と Loc の比が 9 : 1 から 7 : 3 の範囲でゼラチンゲルのレオロジー的性質に最も類似する^{9, 11, 12}。Xan-Loc 混合水溶液ゲルの特性は加熱・冷却および凍結・解凍を反復した場合、 G' 、 $\tan\delta$ や動的粘度 η' などにほとんど影響しない^{9, 11, 12}。さらに、Xan-Loc 水溶液 (中性の状態の場合) をオートクレーブを使用して 115°C で、約 20 分間加熱した場合、Xan-Loc 混合ゲルの G' 、 $\tan\delta$ などの変化は少ない^{9, 11, 12}。以上のレオロジー的性質は嚥下訓練食の加工に好都合の条件である。

従って、嚥下訓練食の基盤として厳しい条件の調理・加工において、レオロジー的性質がほとんど変わらないため、ゼラチンに代わって Xan-Loc 混合系の使用が増加してきている。混合系中の Loc の割合が増加してくると、 G' はさらに増大し ($\tan\delta$ は減少) 寒天に類似した硬いゲルになる。混合系ゲルの特性は濃度を一定にして、Xan と Loc の混合比を変えてレオロジー的性質を変えることができる (図 2 を参照)。しかし、寒天とゼラチンは化学的にもレオロジー的にもかなりの差異があるため、両者の混合系はミクロ相分離が生じて均質なゲルを作れない (図 2 を参照)。

3. 架橋型 α 化澱粉^{11, 12)}

澱粉特有の糊化、老化や曳糸性は嚥下訓練食の調理・加工に対して、望ましくない性質である。嚥下訓練食の基盤に適する澱粉を以下の方法で作製した。ヒドロキシプロピル化反応とリン酸エステル架橋化反応を組み合わせた澱粉誘導体であり、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉は耐老化性、粘度安定化処理 α 化澱粉である。この澱粉は凍結・解凍の反復および加熱・冷却の反復に対して、レオロジー的性質の影響はほとんどみられない。

ゼラチンゲルや Xan-Loc 混合系ゲルと比較して優れている点は冷水可溶ゲルである。この特性は広汎な嚥下訓練食に対する調理・加工を可能にする。例えば、嚥下訓練食の風味を大切にする場合や迅速に嚥下訓練食を摂取したい場合などがある。ここで、嚥下開始食から嚥下食 4 までの嚥下訓練食としたのは、架橋型 α 化澱粉とゲル形成物質の混合比や耐老化性などに影響を与えるとみられる置換度 (DS) などによって基盤をコントロールできるからである。架橋型 α 化澱粉冷水型と種々の嚥下訓練食の味および香りのバランスは、今後の嚥下訓練食の開発に対して興味深い問題である。

嚥下訓練食と品質管理

嚥下訓練食の調理・加工において最も注意するところは、嚥下開始食と段階的な訓練食の移行である。これらは生命につながる危険性がある。嚥下訓練食のテクスチャーは物理的な性質によってひき起こされる感覚特性であることから、これらのレオロジー的性質を再現よく測定しなければならない。迅速で、簡便かつ再現性がよく、さらに多くの知見が得られる動的粘弾性測定が品質管理に適していると考えられる。

文 献

- 1) 渡瀬峰男：嚥下障害者および高齢者に向くゲル状嚥下食の構造と機能特性。New Food Ind., **41** (2), 71–78 (1999)。
- 2) 渡瀬峰男：嚥下障害者および高齢者に向く嚥下食の開発研究、基礎と応用 2。New Food Ind., **41** (11), 1–11 (1999)。
- 3) 渡瀬峰男：嚥下障害者に向く食肉および魚肉の機能特性。食品工業, **42** (23), 1–8 (1999)。
- 4) 渡瀬峰男：嚥下障害者の寝たきり状態から自立までの食事からのリハビリテーション。食品工業, **43** (15), 88–90 (2000)。
- 5) 渡瀬峰男：嚥下食の基盤に適するゲル状食品の機能特性。食品工業, **43** (17), 74–84 (2000)。

- 6) 渡瀬峰男：3次機能をもつ食物繊維を添加したゲル状嚥下食の動的粘弾性. 食品工業, **43** (19), 74-84 (2000).
- 7) 渡瀬峰男：嚥下障害者に向くゲル状嚥下食品の研究 Ca^{2+} および Mg^{2+} を添加した低メトキシルメクチンゲルの動的粘弾性. 食品工業, **43** (21), 62-70 (2000).
- 8) 渡瀬峰男：嚥下食の基盤に向く種々の増粘多糖類水溶液の構造と機能特性. 食品工業, **44** (1), 66-78 (2001).
- 9) 渡瀬峰男：ゲル形成能をもつ多糖類とキサンタンガム-ガラクトマンナン混合ゲルの動的粘弾性. 食品工業, **44** (5), 79-93 (2001).
- 10) 渡瀬峰男：大豆たんぱく質を添加したゲル状嚥下食の基盤に与える動的粘弾性の影響. 食品工業, **44** (5), 71-82 (2001).
- 11) 渡瀬峰男：嚥下困難者に向くゲル状嚥下食の基盤に対する分類の構築. 食品工業, **44** (11), 74-85 (2001).
- 12) 渡瀬峰男：嚥下開始食の機能特性 (咀嚼・嚥下特集). 食品工業, **44** (20), 41-49 (2001).
- 13) 藤島一郎：「嚥下のメカニズム」, 脳卒中の摂食・嚥下障害 (2版), 医歯薬出版, 東京, p. 22 (2000).
- 14) M. Watase and K. Arakawa: Rheological properties of hydrogels of agar-agar, Stress relaxation of concentrated hydrogels. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **40**, 472-475 (1967).
- 15) M. Watase: Stress relaxation of agarose gels. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **41**, 1830-1834 (1968).
- 16) 渡瀬峰男：濃厚ゼラチンゲルのレオロジー的性質. 日化, **88**, 317-320 (1967).
- 17) 渡瀬峰男：尿素を添加したゼラチンゲルの応力緩和. 日化, **90**, 658-663 (1969).
- 18) D.A. Ledward: Gelation of gelatin. in *Functional-Properties of Food Macromolecules*, J.R. Mitchell, ed., Elsevier Appl. Sci. Pub., London, pp. 171-201 (1986).
- 19) M. Watase and K. Nishinari: Rheological properties of agarose-gelatin gels. *Rheol. Acta*, **19**, 220-225 (1980).
- 20) M. Watase: Rheological properties of mixtures of protein. *Biorheology*, **20**, 495-505 (1983).
- 21) F.A. Johnston-Banks: "Gelatin". in *Food Gels*, P. Harris, ed., Elsevier Appl. Sci., pp. 233-290 (1990).
- 22) D.A. Rees: Polysaccharide gels: A molecular view. *Chem. Ind.*, **630** (1972).
- 23) G.J. Brownsey, P. Cairns, M. Miles and V.J. Morris: Evidence for intermolecular binding between xanthan and the glucomannan konjac mannan. *Carbohydr. Res.*, **176**, 329 (1988).
- 24) I.C.M. Dea, A.A. McKinnon and D.A. Rees: Tertiary and quaternary structure in aqueous polysaccharide systems which model cell wall cohesion; reversible changes in conformation and association of agarose, carrageenan and galactomannans. *J. Mol. Biol.*, **68**, 153 (1972).

(2001年11月12日受付; 2001年11月27日受理)