

秋季藻類シンポジウム「海藻と健康の展望—大学研究室からの報告」講演 (2006. 11. 18)

田代有里：食感とレオロジー

内閣府発表の高齢社会白書⁽¹⁾によると、2005年日本における65歳以上の高齢者人口は、過去最高の2,560万人となり、総人口に占める割合(高齢化率)も20.04%と、初めて20%を超えた。さらに推計では2010年には高齢者人口は21%を越えて、超高齢社会に突入することになる。さらに、感染症が激減し新生児の死亡率も低下して、世界一と言えるほどの少子高齢社会となった。高齢化や生活習慣の欧米化、社会環境の変化などによって疾病の形態が変わってきた現在では、生活習慣病が死因に占める割合が高まっている。それらの疾患を未然に防ぐ、あるいは軽度のうちに発見するため、適切な健康診断の実施、健診結果のフォローアップ、日常生活の見直しなどが現在は重要視されている。すなわち、悪くなった病気を治す「治療医学」よりも、「生涯健康」が達成されるように病気を未然に防ぐ「予防医学」が注目されている⁽²⁾。

予防医学において重要な位置を占めているのは毎日の食事である。かつて食品の価値は、栄養があつて美味しい、といった栄養特性あるいは嗜好特性を中心に論じられてきた。それが1980年代になると、食品の役割を身体に対する「働き=機能」という観点から考えるという新しい「食品機能」の概念が提唱された⁽³⁾。すなわち、食品の働きは栄養面での働き(一次機能)、感覚面での働き(二次機能)、および生理面での働き(三次機能)の三つに分類された(表1)。これがきっかけとなって、食品の持つ生体防御、体調リズム調節、疾病予防及び回復といった三次機能が注目され、健康食品ブームが到来したのである。現在は、特定保健用食品に代表されるように、確かに体調を整える効果のある、たくさんの健康食品が世の中に出ている。また、このように健康食品と銘打った商品だけでなく、長寿で健康な人が普段から食べている食品も健康食品であることが多いことを忘れてはならない。

毎日の食生活にこれら健康食品を取り入れていけば、健康に過ごす期間を長く手に入れることが期待できる。ただしそれは、食品を口から摂取することができる人にものみ可能なことである。食品を認知することから始まり、食品を口腔内に取り込み、咽頭、食道を経て胃に至るまでの過程を摂食・嚥

下という。高齢者の場合、加齢による唾液分泌能の低下、嚥下反射の遅延、口腔での食塊保持能力の低下、歯の欠損による食品粉碎の障害のため、「上手に食べられない」「むせる」といった、摂食・嚥下障害の症状が表れることがある。摂食・嚥下機能は、ヒトが生きるための基本的機能であり、毎日この機能を利用し、繰り返し行う必要のある動作であるため、この領域に障害が生じると、栄養不足となつてしまい病気の回復が遅れてしまうことになる。さらに、口腔・咽頭領域は、摂食・嚥下を営む消化器官であると同時に呼吸器官でもあることから、誤嚥による肺炎など、その影響はかなり大きい。

高齢者用食品のテクスチャ

食品のテクスチャ Texture とは食品のレオロジー的性質に関係している感覚的特性のことを指し、口腔内で知覚される食品の物理的性質と定義されている。また、レオロジー Rheology は学問分野の一つで、1920年代にこの分野の開拓者である Bingham によって「物体の変形と流動の科学」と定義された。さらに、Scott Blair⁽⁴⁾によって食品レオロジーの分野が確立された。

健康増進法の厚生労働省令で定められている「特別用途食品」には、「高齢者用食品」として「そしゃく困難者用食品」および「そしゃく・嚥下困難者用食品」がある。これら食品の規格は、上記の加齢による摂食・嚥下機能が低下した高齢者が食品の栄養機能と生体調節機能を享受できるように表2のように厚生省⁽⁵⁾によって自治体等に通達された。この規格に合うように試作された食品は、その外観は豆腐を潰して寄せ集めたような感じでもおいしそうには見えず、食べてみたいとは全く思えないものである。口に入れた感覚も同様であることが想像できる。すなわち、ここで規格されている高齢者用食品は、食品の機能のうちの感覚機能であるテクスチャが欠落したものとなっている。これは高齢者用食品の規格が、ゲル、ゾル、固形物という3種類の形状のみの組み合わせから判断され、画一化されたものだからである。食品の歯応えを楽しむ食文化を持つ日本人には、全て同じ口当たり(テクスチャ)の食事というのは、食の楽しみを奪ってしまつてしまい、食がますます進まなくなつてしまうことになりかねない(ただし、実際に市場に出ている介護用食品は素材を選び、味にも工夫を施して消費者の嗜好性が配慮されている)。産業規模で快適な高齢者食あるいは介護食を提供するためには、個々の食品に通用する食べやすさの基準が必要である。さらに、これらの形状をした食品の混合物のかたさや粘度の測定は、測定中に固形物と液汁が分離してしまうことがあり、信頼できる測定結果が得られない場合があるので、測定方法の確立も必要である。

表1 食品の機能

一次機能(栄養機能)	栄養素の補給, エネルギー供給
二次機能(感覚機能)	色, 味, におい, テクスチャ
三次機能(生体調節機能)	腸内細菌叢改善, 便秘改善, コレステロール低下作用, 血糖上昇抑制作用, 血圧上昇抑制作用, 抗ガン作用, 抗酸化作用

表2 高齢者用食品許可基準

食品群		規格				
種別	形状	堅さ（一定速度で圧縮したときの抵抗） (N/m ²)	固形物の比率 (重量%)	ゾルの粘度 (mPa・s)	備考（堅さ、食べやすさの目安）	
そしやく困難者用食品	ゾル	5 × 10 ² N/m ² 以下	-	-	かまなくてもよい	
	ゾル中に固形物*	固形物を含む全体を測定して 5 × 10 ³ N/m ² 以下	50% 以下	-	-	
	ゲル	5 × 10 ⁴ N/m ² 以下				舌でつぶせる
	ゲル中に固形物*	固形物を含む全体を測定して 5 × 10 ⁴ N/m ² 以下				歯ぐきでつぶせる
	固形物	5 × 10 ⁴ N/m ² 以下				
そしやく・えん下困難者用食品	ゾル	5 × 10 ² N/m ² 以下				-
	ゾル中に固形物*	固形物を含む全体を測定して 5 × 10 ³ N/m ² 以下	50% 以下			
	ゲル	1 × 10 ⁴ N/m ² 以下	-	-	舌でつぶせる	
	ゲル中に固形物*	固形物を含む全体を測定して 5 × 10 ⁴ N/m ² 以下	50% 以下		歯ぐきでつぶせる	

*：固形物の大きさの上限の目安は、立方体に近い物、球形に近いもの、不定形な塊状のもの等に合っては、1 cm³とする。ただし、極端に扁平なもの、細長いもの等に合っては、長さの上限をおおむね2 cmとする。

嚥下しやすい食品

高齢者用食品の規格は、咀嚼困難者や嚥下困難者が嚥下可能な食品について、十分に説明しきれていないため、適用できる料理のメニューが限られてくるだろう。摂食・嚥下障害は、ゲル、ゾル、固形物だけでなく、あらゆる食品形態による影響を受け、同じ人でも、食品の形態により嚥下が難しい場合がある。表3のように、一般的に摂食・嚥下障害の人は、水のようにさらさらな液体は誤嚥しやすいと言われている。口腔内での食品の保持能力が低下している場合、咽頭にすぐ流入し、嚥下反射の前に気道に流入しやすくなる。また、パサパサしていたり、口腔内でバラバラになってまとまりにくい食品やベトベトと貼り付きやすい食品も、十分な咀嚼が行われないと、食塊となって食道までの流動がスムーズに進行するために必要な唾液が分泌されておらず、咽頭通過時にバラバラになってしまい誤嚥しやすい。他にも水と錠剤と一緒に飲むなどのように、形態の異なる食品と一緒に摂食した場合、水だけが先に咽頭を通過してしまい、錠剤が口腔内に残されて嚥下困難になることもある。

これらのことから、咀嚼・嚥下困難者が嚥下しやすい食品とは、咀嚼や食塊形成を補い、咽頭残留や誤嚥の少ないものである必要がある。その代表として、一般にゼラチンゼリー

がよく紹介されている⁽⁶⁾。ゼラチンゲルは、ゲルを押して破壊しようとした場合、大きく変形してから破壊されることが特徴である。このことは、ゼラチンゲルは口腔内では咀嚼以外の力で破壊されにくい、バラバラになりにくいという嚥下しやすい食品としての条件を備えた食品であるということになる。しかし、ゼラチンゲルは、冷蔵庫程度の温度で冷やされている間はゲル状を保持しているが、体温程度の温度で溶けて水溶性になるため、食品をよく味わって食べたい場合、口腔内に食品が滞在している時間が長くなり、ゼラチンゲルが溶けて水溶液になり誤嚥につながる危険性がある。あるいは、全ての食事は冷やされたものでなければならなくなり、口に入れた後は溶ける前に飲み込む必要がある。食品の温度が低い場合、人は味に鈍感になることが多いので調味料を多く入れることになるが、健康のためには調味料は控えめでなければならない。まさしく味気ない話である。このような用途にはゼラチンよりは熱安定性の高いゲルを形成するカラギーナンや寒天などが有効であろう。特にカラギーナンは、デザートゼリーではゼラチンに代わる材料としてすでに利用されているので、嚥下食としての利用もゼラチンに替わるものであるはずである。ただし、カラギーナンのゲル化の特徴は共存しているイオンがカリウムイオンか、カルシウムイオンか、またそれらイオンの濃度によってもゲル形成能が異なるので、カラギーナンを料理に添加したい場合、カラギーナン濃度は同じでも料理の材料によって（材料由来のイオンが生成するため）できたゲルの強度が異なることになるので、カラギーナン単独で使用するのではなく、ローカストビーンガム等の他のゲル化剤と併用することによって強度を調整することができる⁽⁷⁾。寒天の場合は、イオンの影響はさほど大きくないことが期待されるが、ゼラチンゲルの特徴である大きな変形を伴う破壊ではなく、小さい変形で容易に破壊されてしまうので、まとまりのある食塊を形成するためには工

表3 嚥下食として適さない食品の例

性質	食品例
粘度が低い	水、お茶、ジュース
酸味が強い	酢の物、柑橘類
パサつく	焼き魚、鶏ささみ、ゆで卵、ふかし芋、高野豆腐、おから
バラバラになる	かまぼこ、ピーナッツ
のどに貼り付く	餅、チーズ、わかめ、バターロール
口蓋に貼り付く	焼き海苔、蒸しパン、ウエハース
水分と固形分に分離する	スイカ、ナシ、高野豆腐、がんもどきの煮物

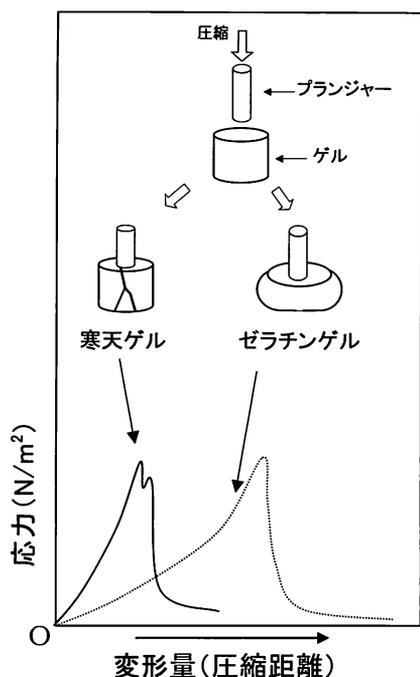


図1 寒天ゲルおよびゼラチンゲルの破壊挙動

夫が必要な材料である（図1）。実際、市場に出ている嚥下困難者用食品の中には、寒天とゼラチンを組み合わせることによって、両者の欠点を補い、かつ長所をうまく利用したものがある⁽⁸⁾。

他に嚥下しやすい食品として紹介されているのは、水分の多い食品に誤嚥しないようろみを付ける方法がある。ろみの付与のために、カボチャなどの澱粉系食品を水とともにミキサーにかけて流動状態にしてから加熱すると予想を超え

るような高い粘性を示すことがある。これは、ミキサーによって粉々に破碎されることによりデンプンが分散し、加熱されるとデンプンが糊化して食品全体が粘度の高い流動体となったのである。とろみの付与のための材料には、市販されている増粘剤（とろみ剤）を利用したほうが、テクスチャのコントロールが容易である。

摂食・嚥下の過程と食品のテクスチャ

現在の介護食品の設計のみならず、特徴あるテクスチャの設計には経験に頼るところが大きいため、新たな介護食品の開発あるいは、適した食品素材を見つけることが困難であろう。咀嚼・嚥下困難者を対象とした食品の設計をする場合、まず、摂食・嚥下のメカニズムを知っておく必要がある。摂食・嚥下の過程はLeopold & Kagelによって食塊の位置から5期に分けられており、先行期（認知期）、準備期（捕食、咀嚼）、口腔期（食塊形成、舌による咽頭への送り込み、移行相）、咽頭期、食道期と分類されている（図2、表4）⁽⁹⁾。

第1期の先行期は、食品を口に取り込む前の過程を指し、この時期に眼（視覚）、手（触覚）、香り（嗅覚）などで食品を認知する。第2期の準備期では、口腔内へ食品を取り込む捕食の動きとそれに続いて取り込まれた食品を処理して食塊を形成するまでの咀嚼の動きである。この間、自由に咀嚼運動を営んでいるときには、処理された食品の一部は咽頭に流入する場合が多い。第3期の口腔期では、処理された食品を嚥下するための食塊の形成の動きと、咽頭へ送り込む動きの2つの動きがある。口が閉鎖された状態で舌を口蓋に押し付けることによってなされる動きである。第4期の咽頭期は、食塊を嚥下反射により中咽頭から食道入口部に送り込む動き

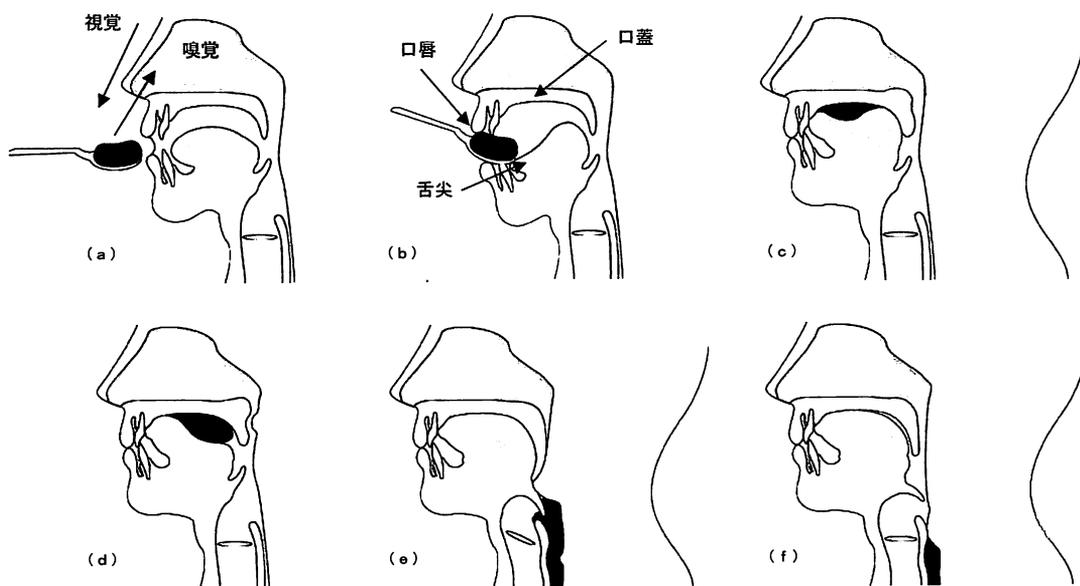


図2 摂食・嚥下の過程

(a) 第1期（先行期）、(b) 第2期（準備期：口腔への取り込み）、(c) 第2期（準備期：食塊形成）、(d) 第3期（口腔期）、(e) 第4期（咽頭期）、(f) 第5期（食道期）

表4 Leopoldの摂食・嚥下運動の分類

第1期 先行期 (認知期: Anticipatory stage)	高次機能	食品の認知
第2期 準備期 (preparatory stage)	随意運動	捕食 (食品の取り込み), 咀嚼, 食塊形成
第3期 口腔期 (第1相: lingual stage)	随意運動	舌による咽頭への送り込み
第4期 咽頭期 (第2相: pharyngeal stage)	嚥下反射	咽頭通過, 鼻咽腔・咽頭の閉鎖, 呼吸の休止
第5期 食道期 (第3相: esophageal stage)	蠕動運動	食道通過

である。食塊が咽頭から食道に向かって移送される際は、咽頭・喉頭は閉鎖して気道内への異物の侵入を防御する。第5期の食道期は、食塊は咽頭収縮波に続く蠕動波と重力によって噴門に向かって移送される。

これらの摂食・嚥下する過程のうち第1期と第2期において、食品のテクスチャは五感を総動員して知覚される。第1期においては、目前にある食品の大きさ、箸でつまんでみたときに感じるかたさ、立ち上る香り、料理名から予想される味、湯気の昇り具合から予測される温度などに応じて口に入れる量を決定し、口腔内での処理方法を予測して必要な動きの準備をする。第2期の捕食においては、テクスチャの知覚はおもに触覚が関与しており、触覚のなかでも圧覚の情報が大きな部分を占める。食品のかたさは、主に上下の歯で噛んだときの圧覚によって知覚され、捕食の動きによって取り込んだ食品の物性の多くは、歯で噛む行為だけではなく、口唇、舌尖、口蓋前方部によって感知される。たとえば、ゼリーや寒天ゲルの場合、舌と上顎の協調によって、かたさやなめらかさの情報もたらされる。また流動性の食品では、上口唇が液状食品に触れることによって温度や流入速度を感知し、閉鎖程度を調節して口腔内への流入量や速度を調節する。これがうまくいかないと口に入ってからすぐ咽頭に運ばれて咽せることになる。さらに第2期の咀嚼においては、捕食時の物性感知で、潰す必要があることが認知された食品は、唾液と混和されながら嚥下できる程度まで咀嚼される。堅い煎餅やピーナッツなどはよく噛んで細かくしなければ嚥下することができないことを我々は経験している。

食品のテクスチャとレオロジー

摂食・嚥下の過程において、我々は無意識のうちに、食品のかたさや流動性といったレオロジー的性質と、その食品を口腔内に流入する量や速度を調節するような感覚との間に関係則を成り立たせている。これは感覚生理学におけるFechnerの法則としてよく知られており⁽¹⁰⁾、例えば、クリームスープの粘度となめらかさの感覚との間に対数則が成り立つことや、ゴムを指で圧縮したときに感じるかたさと物理量との間にべき則が成立することが知られている⁽¹¹⁾。このあたりに介護食の開発のヒントがありそうであるが、現実の咀嚼・嚥下行動はこのような単純な関係則で説明できない。やわらかいスポンジケーキを噛む回数はこの関係則から予測すると多くを要さない。しかし、実際はその回数を噛んだだけでは嚥下できる状態にはなっておらずパサパサであるため嚥下できない。嚥下できるようになるためには唾液が分泌されて食塊を形成させなければならない。このように乾燥食品の

場合には、レオロジー的性質だけでなく分泌される唾液の量も考慮されなければならない。一方、ゼリーや寒天ゲルは水分含量が95%近くあるので乾燥食品のように唾液分泌のファクターを考慮しなくて済む点も介護食材として利用される長所である。では、ゼリーや寒天ゲルのテクスチャをレオロジーパラメータで表現できるかという点も難しい。テクスチャはいくつかのレオロジー的性質の総体であり、口腔内の感覚に限ってみても、なめらかさあるいはゼリー感や水っぽさを、単一のレオロジーパラメータで表現することができない。また感覚的な「かたさ」には12以上の物理的パラメータが含まれているという。言葉で表現してみても「かたい」「こわい」「ポリポリ」「カリカリ」というように、食品のテクスチャならびに人の感覚はともに繊細、かつ複雑であることが分かる。

現時点では食品のテクスチャをレオロジーで表現することに成功していない。この点が解決できればテクスチャが設計された食品を作ることが可能となるかもしれない。全ての人に豊かな食生活を与えられるよう、食品科学、医学、歯学、様々な視点から研究が進められている真っ最中である。

参考文献

- (1) 内閣府 2006. 平成 18 年度版高齢社会白書.
- (2) 矢澤一良 2004. 予防医学とヘルスフード. FOOD STYLE 21. 89: 22-25.
- (3) 藤巻正生 1988. 食品機能: 機能性食品創製の基盤. 学会出版センター, 東京.
- (4) Scott Blair 1953. Foodstuffs, their plasticity, fluidity and consistency. North-Holland Pub. Co., Amsterdam.
- (5) 厚生省生活衛生局長通知 1994. 「特別用途食品の表示許可について」及び「特別用途食品の表示許可について」の一部改正について. 平成六年二月二三日衛新第一四号.
- (6) 向井美恵 2003. 摂食・嚥下障害の理解とケア. 学習研究社, 東京.
- (7) 作田圭亮 1997. 芳香剤・消臭剤. p. 456-460. 長田義仁他 (編). ゲルハンドブック, エヌ・ティー・エス, 東京.
- (8) 黒田留美子 2005. 市販介護食品に“もうひと手間”でつくる毎日の介護食レシピ. 河出書房新社, 東京.
- (9) Leopold, N. A. & Kagel, M. A. 1983. Swallowing, ingestion, and dysphagia: a reappraisal. Arch. Phys. Med. Rehab. 64: 371-373.
- (10) Cutler, A. N., Morris, E. R. & Taylor, L. J. 1983. Oral perception of viscosity in fluid foods and model systems. J. Texture Studies 14: 377-395.
- (11) 磯 直道・水野治夫・小川廣男 1998. 食品のレオロジー. 成山堂書店, 東京.

(東京海洋大学海洋科学部食品生産科学科 〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7)