

# 21 世紀の食品のあり方－食品の価値を決める品質情報－

京都大学大学院農学研究科 森 友彦

我々の生活圏は、今、過去には予想もつかない程の情報が生み出され提供されるようになってきた。食品の価値は品質の良し悪しで決まるが、この品質なるものが現在では大変多様になり複雑さを増している。食品の品質に関しては、元来、栄養性、安全性、嗜好性の3大要素を十分に具えることが目標であった。その後、社会の成熟、科学の発達、グローバル化、高齢化社会等の状況のもとに、食品への関心が著しく高まった。そして、食品の品質はこれまで以上に格段に注目を集め、進化を遂げつつあるように思われる。以下に、食品の品質に関するそのあたりの状況について解説を加えつつ概略を述べる。ついで、品質の極く一部を占める食感について紹介する。

## I. 食品の品質、機能、価値の相互関係

### 1. 品質と食品価値

#### (1)食品機能（直接価値）

一次機能(栄養機能)：食品中の栄養素が生体に対し短期的かつ長期的に果たす機能  
(生命の維持機能)

二次機能(感覚機能)：食品組織、食品成分が感覚に訴える機能(味覚嗅覚応答機能)

三次機能(生体調節機能)：生体に対する食品の調節機能(生体防御、体調リズムの調節、老化抑制疾患の防止、疾病の回復)

#### (2)情報機能(付加・間接・文化価値)

健康志向度(健康の定義：健康とは、単に疾病がないとか虚弱でないというばかりでなく、physical(肉体的)、mental(心理的)、social(社会的)、spiritual(精神的)に完全に良好な状態である、1998年1月WHO執行理事会)

品質表示：原産地、遺伝子組み換え作物、旬の成分組成

食品安全・安心性：HACCP、ISO認定

環境・生態系保全貢献度

有機農産物認証

### 2. 品質と受諾性

(1)間接的：一次・三次機能は知識を通して付加価値認識を生じる役割を果し間接的受諾性に関係すると考えられる。

(2)直接的：二次機能(嗜好性、好感性)

風味と食感の科学と技術

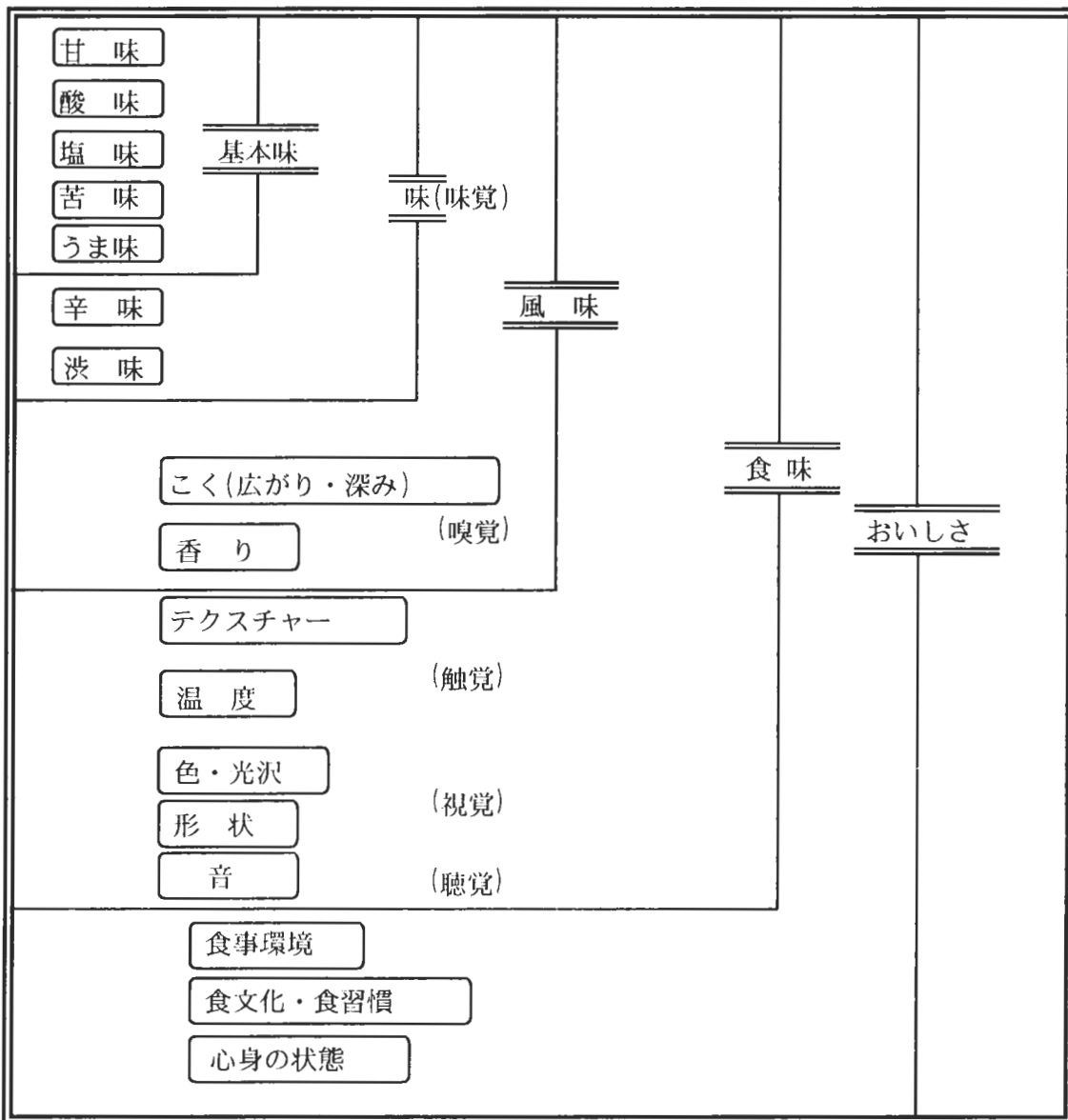
感覚系メカニズム

食品の構造と成分間相互作用：「生物の構造、その形成と機能発現における成分の役割」になぞらえてみる

品質の分析・測定・評価手法：生物による評価(ヒトから動植物微生物まで：食べものから飼料、肥料まで)、機器による測定(数値化と装置化)

### 3. 品質と美味しさの要因

#### 美味しさの構造



## II. 食品ゲルの構造形成とテクスチャー解析

### 1. はじめに

食品には1次(生命維持、栄養機能)、2次(感覚刺激、摂食機能)、3次(健康維持・増進、生理機能)の3つの機能があり、香・味・食感は2次機能を担う。感覚科学が目ざましく発達している中で、風味・食感について感知・認知の機構や計測の手法など新たな研究が進展しつつあり、食品の2次機能を適切にあるいは最高に発揮させるという観点から注目されている。

食品にはゲル形態のものが多々あり、それぞれ特徴的なテクスチャーをそなえている。テ

クスチャーを決める要因は単純ではなさそうであるが、食品を構成する主要な成分たとえばタンパク質、多糖類、脂質などの関与するゲル形成能やゲル物性が基本的な要因の一つになるものと予想される。ゆで玉子の白身、ゼラチン・ゼリー、カンテン、コンニャクなどはそのわかりやすい一例としてあげることができる。それぞれ、タンパク質、多糖類の種類の違いによってテクスチャーは独特であり、ゲル化の条件もそれぞれ異なっている。

食品の高付加価値化、インテリジェンス化を目指すうえで、受諾性の高度化が新たな重要課題の一つであり、食感・テクスチャーからのアプローチに寄せられる期待が大きい。本稿では食感(あるいはテクスチャー)の制御・変換と設計・開発を通して、高度受諾性食品の創出への途を拓くための基礎研究として、食品タンパク質に的をしぼって、ゲルの物性発現・制御要因に関する分子レベルの研究状況、ならびにテクスチャーの数値化手法構築と計測装置開発の一端を概説する。

## 2.食品タンパク質ゲルの形成機構

食品の加工や調理に際して多くの場合に加熱操作が含まれ、これによって独特かつ多様、多彩なテクスチャーが付与される。加熱によりテクスチャーが発現し、あるいは変化することは個々の食品において自明の如く理解されており、また一方では、そのしくみを解明するには複雑すぎる対象とみなされてきた。ここでは、このような現象のモデル系としてダイズタンパク質の主要成分である11Sグロブリン(グリシニン)および7Sグロブリン(コングリシニン)、ソラマメの11Sグロブリン(レグミン)の加熱ゲル形成に注目し、その分子レベルでのメカニズムについて概略を述べる。

ダイズには主要なタンパク質成分として上記の7Sグロブリン(コングリシニン)と11Sグロブリン(グリシニン)が存在し、いずれもサブユニット構造を有している。このため、タンパク質化学的・構造的な性質が両グロブリンのゲル化現象に深く関わっていることが予想され、そのような観点からのアプローチによりゲル形成メカニズムの分子レベルでの解明が進展してきている。ダイズタンパク質のゲル化現象に関する従来の全般的な知見については他に総説<sup>1) 2)</sup>があるので省略し、その後明らかになってきたゲル化機作の基本的な点について述べる。なお、ゲル化の条件として酸・アルカリ性、アルコール、加熱などがあるが、以下に述べる内容は食品加工と関わりの深い加熱の条件(100℃、リン酸緩衝液pH7.6、イオン強度0.5)におけるゲル化についてのものである<sup>3)</sup>。

### (1)11Sグロブリンのゲル化メカニズム

11Sグロブリンはタンパク質濃度が2.5%以上でゲル化し、それ以下の濃度では白濁液となってゲル化しない。ゲル化する過程では、加熱による構造変化に伴って会合が起こり、分子量180万、400万、800万の可溶性会合体(ストランド状)が順次形成される。800万の会合体には直鎖状と枝分れ状の2種類のストランドが存在する。これらストランドは、ついで、その末端どうしで連結してネットワーク構造を生じる。その後ネットワークの発達とネットワーク中のタンパク質分子間結合の増強が共に進行して完熟ゲルが形成される。一方、白濁化してゲル化しない過程では、サブユニット(酸性・塩基性サブユニット)への解離が進行し、解離した塩基性サブユニットがそれ自身不要性であるため白濁液状を呈するようになる。構造変化を生じた後の会合反応、ストランド連結、ネットワーク中分子間結合形成には主として疎水性相互作用とジスルフィド結合が関与している。これらの分子間相互作用には11Sグロ

ブリン分子の構造変化、すなわち、各サブユニットの高次構造やサブユニットの分子内配置の変化およびそれらに伴う分子表面の疎水性領域分布やシステイン・シスチン残基の状態の変化などが寄与していると考えられる。しかし、ストランド形成における分子の会合およびストランドの連結に、どのサブユニットが関わっているかといった点は現在まだ不明である。サブユニットへの解離反応は、ゲル化が進行している際にも一部進行し、タンパク質濃度の上昇とともにその程度を減じるものと考えられる。このことは、ゲルの濁りの程度がタンパク質濃度の上昇とともに低下し 20%濃度ではほぼ透明なゲルが形成されることから支持される。

#### (2)7S グロブリンのゲル化メカニズム

7S グロブリンはタンパク質濃度が 7.5%以上でゲル化し、それ以下の濃度ではゲル化せず濁りも生じない。ゲル化する過程では、分子量約 100 万の可溶性会合体(ストランド状および凝集塊状)が形成され、これら会合体は互いに会合してクラスター状となり、それが発達してネットワーク形式にいたる。一方、ゲル化しない過程では、分子量約 100 万の会合体から分子量約 400 万の可溶性会合体の形成へと進み、それ以上は会合も解離もほとんど起こらない。これらの分子間相互作用には非共有結合のみが関わりジスルフィド結合は含まれない。7S グロブリンのサブユニットには $\alpha'$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ の3種類があり、それらは常温下での解離・会合において異なる挙動を示すことが知られている<sup>4) 5)</sup>。そのような性質の異なるサブユニットの存在がストランド状および凝集塊状の会合体形成に関係しているのかもしれない。7S グロブリンのゲル化現象は、形成される会合体の不規則さから見ると、むしろ性質の異なるタンパク質の混合系と考える方が妥当とも思われ、そのような観点からの追求が必要であろう。

#### (3)11S・7S グロブリンの混合系のゲル化メカニズム

11S および 7S グロブリンの混合系(ダイズタンパク質全体にほぼ相当する)のゲル化においては基本的に各グロブリン単独系と両グロブリンの相互作用下での混成系の会合体反応が同時進行しているものと考えられる。両グロブリンの混成会合反応について、11S グロブリンの塩基性サブユニットと 7S グロブリンの $\beta$ -サブユニットの相互作用により、可溶性会合体が形成されることが報告されている<sup>6) 7)</sup>。ダイズタンパク質全体のゲル化現象の解明には、このような混合系での相互作用に注目してさらに追究する必要がある。

#### (4)ソラマメグロブリンのゲル化メカニズム

ソラマメはダイズに次いで高いタンパク質含量を有している。そのほかにもタンパク質含量の高いマメ類が種々知られているが、それらに含まれるグロブリン成分についてのゲル化現象の研究はダイズに比べて遅れているのが現状である。最近、ソラマメの 11S グロブリン(レグミン)について加熱によるゲル化のメカニズムの研究が進み、ダイズ 11S グロブリンとの類似・相違点が明らかになってきているので<sup>8)~10)</sup>、その要点を以下に述べる。ソラマメ 11S グロブリンはタンパク質濃度が 5%以上でゲル化し、それ以下の濃度ではゲル化もサブユニットへの解離も起こらず、また、高分子量の可溶性会合体(ストランド状)は形成されるが、ネットワーク化には至らない。ゲル化する過程では、まず直鎖状のストランドが形成され、それらは末端同士、末端と中間点、中間点同士という連結をして枝分れストランドを形成し、次いでそれらストランドは絡み合ってネットワーク構造の形成へと進行しゲル化が起こる。ソラマメの場合のストランドはダイズの場合よりも太くて短く、表面がでこぼこしている。このことは、ソラマメ 11S グロブリン分子の会合が多少不規則に起こることを示している。

しかし、ダイズの 7S グロブリンの場合のような凝集体形成ほどの不規則さではない。低タンパク質濃度での挙動も含めて見ると、ソラマメ 11S グロブリンの会合・解離挙動はダイズの 11S グロブリンと 7S グロブリンの中間的な様相を示している。これらは、各グロブリン分子の疎水性相互作用能、システイン・シスチン残基量が主な要因となって生じているものと推測される。

以上各グロブリンについて述べてきた加熱による会合(ゲル化)・解離現象の共通点と相違点をまとめて図1に示した。ゲル化(会合)に関していえば、グロビュラータンパク質のゲル化に関する最近のレビュー<sup>11)</sup>にもあるように、鎖状ストランド(string of beads)形成様式と凝集体(random aggregates)形成様式のいずれかの会合挙動を示すものと基本的に考えてよさそうである。これら会合様式の違いはネットワーク構造にも反映され、ネットワーク構造中に形成される各種分子間結合の内容とともに最終的にゲルの物性に差異を生じることになる。ダイズおよびソラマメのグロブリンについての知見は、他の種々のグロブリン成分のゲル化現象を今後明らかにしていく上で有用な手掛りを提供しているものと考えられる。

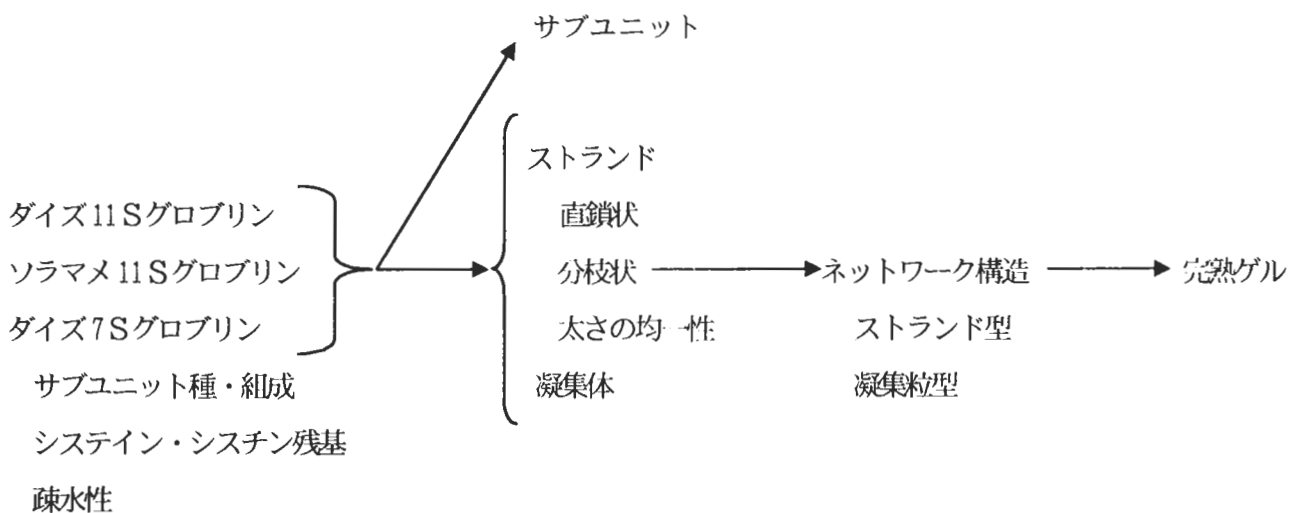


図1. ダイズ・ソラマメグロブリンの加熱による会合・解離およびゲル化の機作

### 3. 食品タンパク質ゲルの物性制御要因

食品は分子の集まりであり、したがって、食品の機能特性(調理加工性、感覚的品質・嗜好性、栄養性、安定性、安全性)の各々は分子レベルで説明することが可能であるという考え方が浸透してきた。つまり、食品を構成する成分(分子)は、順次、より高次の複雑な構造を形成して最終的に食品という形態を生じるとの観点に立ち、各段階の構造はそれぞれ互いに関連を有しているとの見地から、それら構造を明らかにしていくということである。このような考え方は、必ずしも目新しいものではなく、これまでも多くの研究者が作業仮説として考えていたわけであるが、最近、それが一つの体系化されたアイデアとして提示されている

<sup>12)</sup>。すなわち、Molecular origins of structure and functionality in foods : there is a hierarchy of structure in food materials that underlies functionality、であり、食品における材料と機能の特性に関わる構造的要因を明らかにするうえでの基本的な考え方が明確に主張されている。

食品の感覚的品質の一つである物性（あるいはテクスチャー）の研究もそのような考え方のもとに進められてきており、たとえば、タンパク質ゲルの物性発現のメカニズムがゲル形成の過程に注目した研究から、分子レベルで説明されるようになってきた<sup>11)13)14)</sup>。そして、最近では、ゲルの物性に関わるより直接的な要因としてゲルの微細構造に目を向けた研究が進み始めている。そこで、以下に、タンパク質ゲルの物性と微細構造との関連についての最近の知見を紹介するとともに、微細構造以下の構造的要因も含めたゲル物性に関わる要因の階層性（あるいは重層・連鎖性）について述べる。

#### (1) ゲル化条件、ゲル微細構造、ゲル物性の相関

ゲルの微細構造は、ゲル化のメカニズムの面からはゲル化過程の最終段階として注目され、また、ゲル物性の面からはそれに最も近い距離にある構造的要因として興味を持たれている。1981年、Clarks<sup>15)</sup>および Hermansson<sup>16)</sup>により、タンパク質ゲルの微細構造が電子顕微鏡観察の手法を用いて本格的に研究され始め、現在に続くゲル微細構造の研究の発端になっている。

ゲルの微細構造と物性との関連を調べるために、ゲル化の条件を変えて微細構造にバラエティを生じさせる試みが種々なされている。Hermansson ら<sup>17)18)</sup>は、 $\beta$ -ラクトグロブリンの加熱ゲルの微細構造の形態に変化を生じることを示した。オボアルブミンとヴィシリンについては、pH、加熱速度、タンパク質濃度のゲル微細構造への影響が調べられている<sup>19)~21)</sup>。Foegeding ら<sup>22)</sup>は、食品加工用に使われている乳清タンパクの加熱ゲルについて、タンパク質濃度、イオン強度、カルシウム添加により微細構造を変える試みを行った。Doi ら<sup>23)</sup>は、オボアルブミンの加熱ゲルについて、pH、イオン強度、タンパク質濃度による微細構造への影響を詳しく調べている<sup>13)</sup>。この他に、加熱温度と加熱時間<sup>24)25)</sup>、脂肪酸<sup>26)</sup>、還元剤 DTT<sup>27)</sup>によるゲル微細構造の変化について報告がなされている。このようなゲル化条件によるゲル微細構造の変化は基本的にタンパク質分子の会合様式に起因するものと考えられる。すなわち、タンパク質分子は線状会合体（透明ゲル）を形成するか、あるいは凝集状会合体（凝集体・凝塊）を形成し、ゲルの微細構造の形態がそれらによって決まる。しかし、多くの場合、いずれか一方のタイプよりも両タイプが混在した形態が観察されていることから（不透明ゲル）、線状・凝集状会合体それぞれの発達程度および両会合体の占有率により多様なゲル微細構造が生じるものと思われる。

$\beta$ -ラクトグロブリンについて、加熱によるゲル化に際して pH を変えることによりゲルの微細構造が変わるとともにゲル物性も変化することからゲルの微細構造と物性（応力、歪み）の関連が示されている<sup>17)28)</sup>。一方、加熱によるゲル化に際して pH は 5.3 で加熱速度を変えると凝集粒状ネットワークのタイプで凝集粒の形態が変わることから、そのような微細構造の変化と物性との関連が指摘されている<sup>18)</sup>。 $\beta$ -ラクトグロブリンのほかにも前述したような種々のタンパク質について、ゲル化の条件を変える手法により、微細構造と物性の関連が調べられている。 $\beta$ -ラクトグロブリンについて得られた以上のような知見はゲルの微細構造と物性の関連性に関して基本的な点を提示していると思われる。また、タンパク質の種類に

よっては微細構造に関する他の諸要素にも目を向けるとともに、測定する物性の内容（大変形・小変形物性も含めて）を選択しつつ構造と物性の関連性を検討する必要があるものと思われる。

## (2) ゲルの物性制御要因

ゲルの物性は種々の方法により測定することができるが、大きく分けて大変形と小変形での物性測定がある。大変形での測定法として圧縮破壊試験が良く用いられており、この方法によると固さ、凝集性、付着性、弾力性などの物性が測定される。サブユニット組成の異なるいくつかのダイズ品種の 11S グロブリンについて加熱により形成されたゲルの圧縮破壊試験での物性とサブユニット組成との関連が調べられ、ゲルの固さに酸性サブユニット  $A_3$  の含量が関係することが示された<sup>29)</sup>。再構成法により単一サブユニットから成る擬似 11S グロブリンを作製し、そのゲル物性を測定する実験からもゲル強度と  $A_3$  との相関性が指摘されている<sup>30)</sup>。さらに、この再構成 11S グロブリンゲルの電子顕微鏡観察から  $A_3$  は規則的で緻密なネットワーク構造の形成に関係していることが示されている。このようなサブユニット種とネットワーク構造とゲル強度の間の相関性はソラマメの 11S グロブリンにおいても最近見いだされている<sup>31)</sup>。なお、ゲルの組織構造中の間隙(あるいは細孔)のサイズが大きいとゲル強度が低くなることが  $\beta$ -ラクトグロブリンについて示されているが<sup>18)</sup>、この間隙(細孔)はネットワーク構造の規則性および緻密性とも相互に関連したものであるといえる。さらに、ゲルの物性(およびゲル構造)に寄与するより基本的な要因としてタンパク質分子間結合力の役割が見いだされている<sup>14) 32)</sup>。

一方、小変形での物性測定としてクリープ測定を行いレオロジー的性質(粘弾性)とそれに関わる要因について調べた結果から、ジスルフィド結合が力学的構造モデルのバネ部分(ゲルの弾性的性質に対応する構造)の維持に寄与し、バネ・ダッシュポット部分(粘弾性的性質に対応する構造)の補強に関与していることが推定された。なお、バネ部分およびダッシュポット部分というのはその実体がよくわからないのであるが、電顕観察によるゲルのミクロな組織構造(主にネットワーク構造)の解析から得られる知見も加えることによりバネ・ダッシュポット部分とゲルネットワークの化学的・物理化学的・形態的な性質との対応が見いだせるのではないかと期待される。 $\beta$ -ラクトグロブリンゲルについてネットワーク構造がストランド型と凝集体型とでは前者よりも後者の方が高い弾性率を示すことが報告されている<sup>18)</sup>。このことは、ゲル構造の微細な局所的な部分が弾性率に関係していること、すなわち、バネ部分はゲル構造のミクロな部分構造と対応している可能性があることを示している。しかし、物性との関係を論じる場合には、ストランド型と凝集体の違いがネットワークの形態の違いとなって現われるため、それらはバネ(弾性率)要因としての役割だけでなくダッシュポット(粘性)要因にもなりうることを考慮する必要がある。

以上のようにゲル物性の要因にはタンパク質の性質からより複雑でマクロな構造レベルの要因が含まれている。その様子を図 2 に模式的に示した。各レベルの要因は相互に関連を有しており、いろいろな物性の違いや特徴がこの重層的な要因の詳細を明らかにすることから説明できるものと考えられる。したがって、ゲル化過程の説明のところで示したストランドおよびネットワーク構造についてのより詳しい知見を得ることが重要であろうと思われる。グロブリン分子のサブユニット構造あるいは組成、サブユニットタンパク質の 1 次構造の面

からストランドの形状やストランド中の分子間会合部位の状態およびネットワーク化の様式とネットワークの形態に関わる要因を追究することが有望なアプローチの一つであろう。

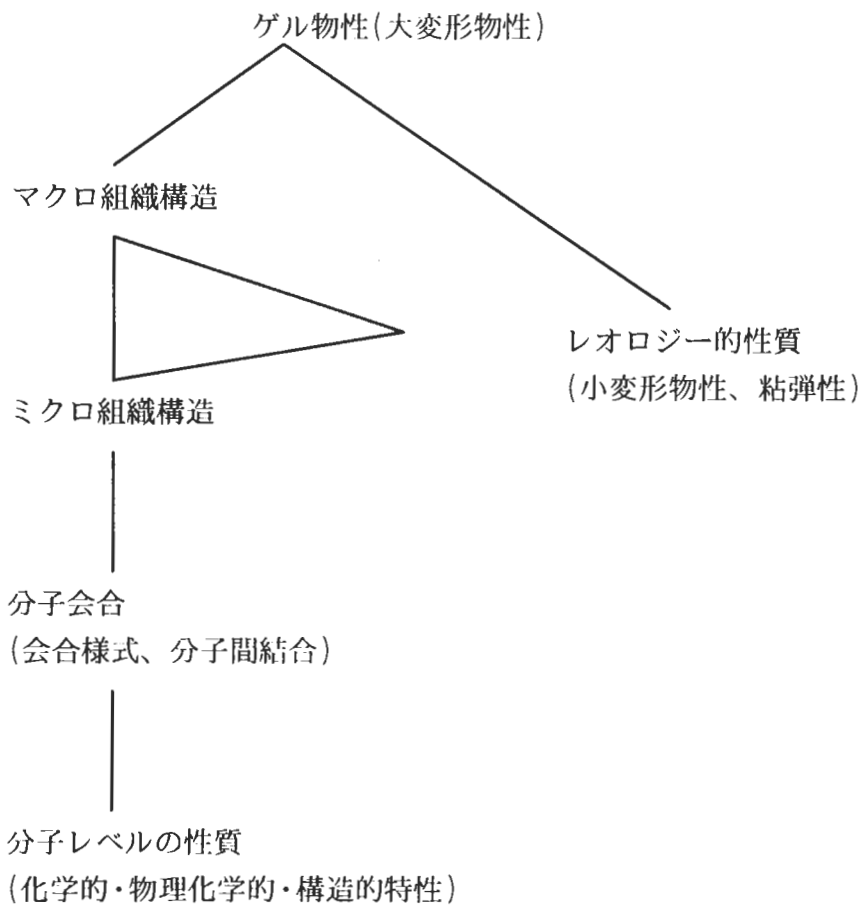


図 2. ゲル物性に関わる要因の階層性

#### 4. テクスチャーの数値化手法と計測装置の開発

咀嚼時に感じる“かたい・やわらかい”、“弾力性”、“歯ごたえ”、“もろい”などの食感(テクスチャー)は、味・香・色とともに食品の美味しさ(あるいは嗜好性・受諾性)に関わりを有している。また、食品はその一つ一つが異なるテクスチャーを示し、また同じグループの食品ではテクスチャーが互いに類似するとともに、食品のグループごとにテクスチャーは特徴的に異なっている。そのような微妙かつ多様なテクスチャーの違いを数値的に表現あるいは区別するためには、物性に関して豊富で適切な情報を得る必要がある。さらに、最近では、食べ物のテクスチャーと咀嚼運動の能力や神経・精神機能との関係が研究されるようになり、テクスチャーの新たな役割が知られるようになってきた。このようなことから、テクスチャーをできるだけ定量的に取り扱えるようなかたちで表現すること、すなわち、テクスチャーを測ることの必要性が高まっている。



## (1) テクスチャープロフィール分析法

テクスチャーは“感じる”という性質であり、したがって、上記のように種々の用語によってテクスチャーの内容を表現している。これは、感覚的には大変わかりやすく良いのであるが、いわゆる物差しや天秤で測る場合のような定量的な取り扱いとは異なるものであり、テクスチャーを測っているとは言えない。テクスチャーを測る、あるいは定量的に扱う、ということはある共通の基準(1つあるいは複数)に基づいて数値的に表わすということである。このため、物性の測定からテクスチャーを表わそうという研究が多くなされてきた<sup>33)</sup>。その中で、テクスチャーの測定法としてブレークスルーとみなされるのがテクスチャープロフィール分析法<sup>34)~38)</sup>である。この方法は、感覚により認知される多様なテクスチャーの内容をいくつかのグループに分類するとともに、それぞれのグループに対応する物性的特性を機器により測定するというものである。その測定値のうち一般的にテクスチャー評価に使われるのは、かたさ、凝集性、弾力性、付着性、もろさ、咀嚼性、ガム性である。これらの力学的特性はテクスチュロメータ(あるいは圧縮式の物性試験機)を使用して測定される。このほか幾何特性、水分・脂肪含量の測定も加えて官能評価の内容の全体を表現することになっているが、一般のゲル状食品の多くの場合について、テクスチュロメータからの力学的特性のデータだけでテクスチャー特性をかなり示すことができる。このように物性の測定から得られる数値(力学的特性値)によりテクスチャーを表現することで、テクスチャープロフィール分析法は各方面でテクスチャーの評価に使われている。たとえば、ハムやソーセージ、チーズ、パン、クッキーなどのかたさを、官能検査の代わりに、力学的特性のうちのかたさについて測定した数値により調べるわけである。製品のかたさが一定のものを作りたいとか、かたさを少し変えたいというような場合に、この数値を目安として使うことができる。

テクスチャープロフィール分析法の応用として、各種食品をテクスチャーによりタイプ分けできることが報告されている<sup>37)</sup>。これは、テクスチュロメータにより測定したかたさ、凝集性、弾力性、付着性の数値に基づいて多種類の食品をグループ分けしたものである。これによれば、各グループに属する食品についてさらに微妙なテクスチャーの差を表現することは難しいようであるが、各食品について歯ごたえが強いかわいいかといったテクスチャーの特徴を知ることができる。このような食品のグループ分けは、咀嚼運動を適切に行わせる目的から、それに適した食べ物を選ぶ際に役立たせることができる。また、それをわかり易くしたかたちのものが、“食物のかみごたえ早見表”、“料理咀嚼回数ガイド”のパンフレットとして出されている。

官能検査は主観的で煩雑であるということから、このような物性に関する測定値によってテクスチャーを表わす手法の必要性は高まる傾向にある。さらに、感覚のレベルで定性的に取り扱われている内容のものを定量的に表現するという立場から、テクスチャーを数量化して示すための手法、たとえば各食品のテクスチャーをグループ分けからさらに個々を区別できるようにするための手法、の開発が望まれている。そこで、食品の個々についてそれぞれのテクスチャーを数値的に表現する手法として、筆者らが研究を進めているテクスチャーマッピング法を次に述べる。

## (2) テクスチャーマッピング法

テクスチャーマッピング法は食品のテクスチャーを圧縮回復試験によってその力学的特性値を測定することで数値化しようとするものであり、力学的特性値の測定、因子分析、三次元グラフ表示の手順により構成される<sup>38) 39)</sup>。円筒型プランジャーを上下運動させることで圧縮回復試験を行い、食品試料について力学的特性値を測定する。図3に本測定から得られた圧縮回復試験における荷重-変形曲線およびそれから求められる力学的特性値を示した。この圧縮回復試験を破断および破断にいたるまでの三段階の変形状態、すなわち破断時荷重の15、30、60%および100%(破断)の4種類において行う。このような多段階測定は、人間が食物を噛み始めてから噛み砕いて噛み終えるまでの一連の咀嚼に沿った状態を測定していると考えられる。

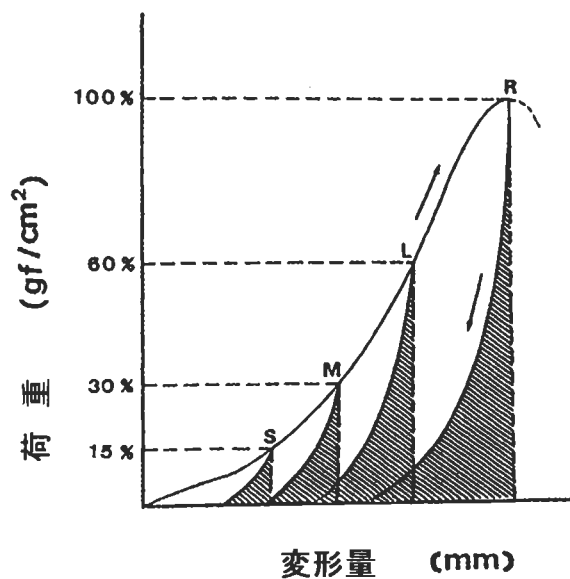


図3. 破断および破断にいたる途中の変形段階についての圧縮・回復試験からの荷重・変形曲線

R : 破断、L : 大変形、M : 中変形 S : 小変形

圧縮仕事量(CW,  $gf \cdot cm / cm^2$ ) = 圧縮曲線、横軸、縦軸(点線)で囲まれる面積

回復仕事量(DW,  $gf \cdot cm / cm^2$ ) = 回復曲線、横軸、縦軸(点線)で囲まれる面積(斜線部)

回復率(RS, %) =  $DW / CW \times 100$

圧縮率(CM, %) = 変形量 / 試料の厚さ  $\times 100$

荷重(F,  $gf / cm$ ) = 縦軸の目盛

次に、これらの測定データについて因子分析をすることにより三つの因子が設定され、それらの因子得点を三次元プロットしたものがテクスチャーマップとなる。図4がテクスチャーマップの一例であり、

これはテクスチャーが異なるタイプの食品 120 種(便宜上、ゲル状食品に限定)についてのものである。それぞれの因子の内容は、第一因子(CW、Fの軸)が「かたさ(タフさ)」を示し、第二因子(CMの軸)が「くずれにくさ(脆さ)」、第三因子(RSの軸)が「弾力性」を示している。これら3つの因子により各試料におけるテクスチャーの違いを判別・評価できることから、このマップでテクスチャーの評価を行うことができる。それぞれのテクスチャーは「かたさ」と「くずれにくさ」および「弾力性」を基準として区別され、テクスチャーの違いがマップの位置からわかる。具体的には、CW、F軸(かたさ)に沿って上に向かうとかたくなり、CM軸(脆さ)に沿って左に向かうとくずれやすく、RS軸(弾力性)に沿って右に向かうと弾力性(回復性)が大きくなる。このような力学的特性値とテクスチャー要素との関連付けについては、すでに Mohsenin<sup>40)</sup>により議論されている。力学的特性データの因子分析から、このようにテクスチャーの違いや特徴が3つのテクスチャー要素に基づいて数値的に示されることがわかったが、通常テクスチャーを感覚的に表現する場合には種々の用語を用いて行っている。Drake<sup>41)</sup>は、テクスチャーを表現するのに用いられる種々の用語を6種の物性要素に割り振りできることを示した。すなわち、粘性、塑性、弾性、圧縮性、凝集性、付着性である。本因子分析で設定されたかたさ、くずれにくさ、弾力性はDrakeの提示した6種の物性要素のうちの圧縮性、凝集性、弾性に対応するものと推定できる。これらの対応関係から、3つのテクスチャー要素を基準としてテクスチャーが表現できるし、ここで得られた結果は充分説得力があるものと考えられる。

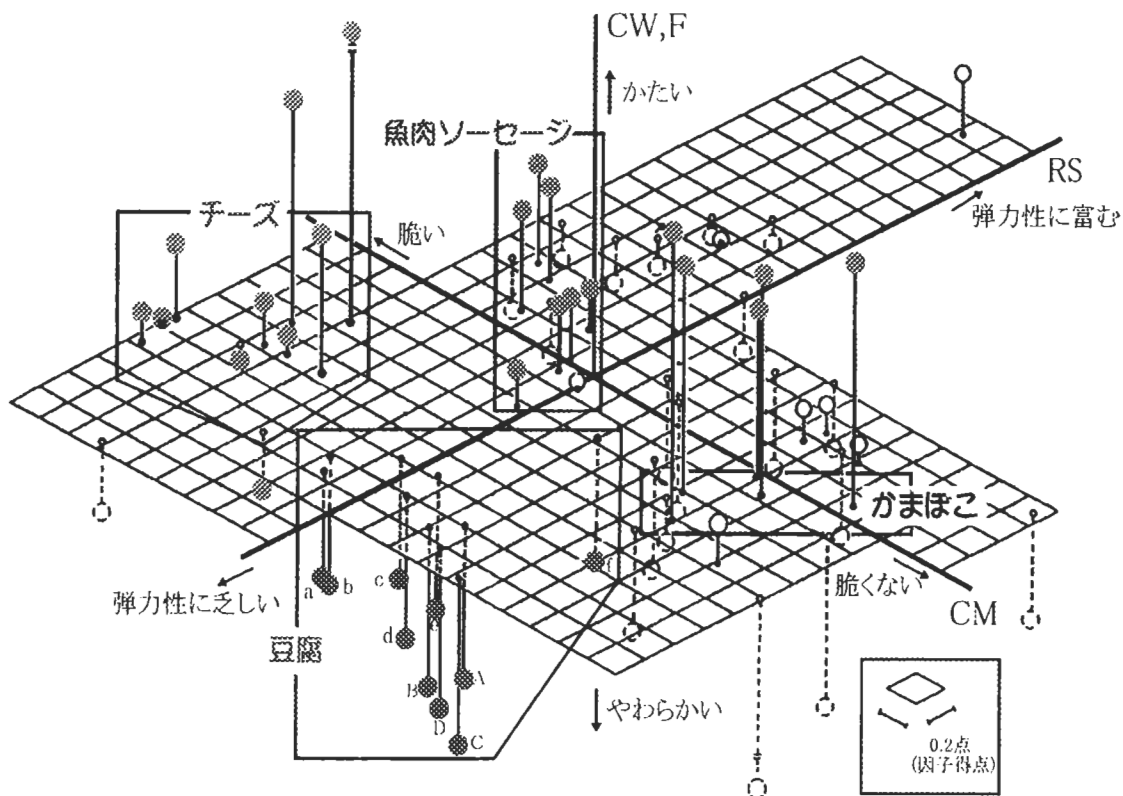


図4. 3次元グラフによる試料の表示(テクスチャーマップ)

図4に示したテクスチャーマップによれば、チーズ類、魚肉ソーセージ、豆腐、カマボコはそれぞれの群でかたまつて分布し、またそれぞれが従来の方法よりも詳しく物性の特徴を示し、食品のもつテクスチャーを視覚的に区別できる。なお、このマップ上の分布状態から、「くずれにくさ」と「弾力性」がテクスチャーの特徴づけに重要であり、「かたさ」はテクスチャーの違いを表わすうえで二次的要素となることがわかった。

本テクスチャー表示法における各試料の分布内容が官能検査の判定と合うかどうかについては、官能検査においてかたさ(タフさ)、くずれにくさ(脆さ)、弾力性を検査項目としてテクスチャータイプの異なる各種の食品を評価するということが行われていない(あるいは行うのが簡単ではない)ために、現時点では不明である。著者らは、本テクスチャー表示法は官能検査法とは一応別の独立した手法として位置付けている。しかし、3次元グラフの座標軸がテクスチャー要素に対応するものであることから、本テクスチャー表示法は官能検査法と親戚関係にあるような手法とみなすこともできる。このように考えると、本テクスチャーマッピング法は、未知サンプルの食感を特定ないし推定することに応用ができる。現在のところは、図4に示した各種の既知サンプルとの比較、照合になるが、既知サンプルをさらに充実させることにより食感の特定・推定が正確・適切になるものと思われる。また、本手法は、各種の食感タイプのものについてそれぞれのタイプごとに食感を評価・分析するのに用いることができるとともに、品質管理、商品開発の手がかりとなる食感に関する情報の入手にも応用できるものと考えられる。さらに、ゲルの食感とその素材の食感付与性に関して製品の食感に反映されると考えると、図4の分布位置から大豆分離タンパク質はカマボコに、小麦デンプンはソーセージに使用するのに適しているということが予測できる。このように、製品の食感への関わりという面からの食品素材の加工利用性の評価・予測に本手法は有用であろうと思われる。

前述したように、本手法はサンプルの調製、物性測定と物性値算出、因子分析、三次元グラフ表示の手順を含むため、時間を要し煩雑である。そこで本手法の簡便化、迅速化を進めるために、新しい装置の開発を数年前から始め、昨年5月から販売している(マコト技研株式会社、大阪府高槻市、TEL0726-61-7013)。

## 5. おわりに

本稿で述べたゲルとテクスチャーの解析に関する研究は、本研究分野の諸先輩がこれまでに挙げてこられた成果を出発点として、多くの協力者と共に進めてきたものであり、ここに各位には心からの感謝を申し上げます。

ヒトはどこから来てどこへ向って行こうとしているのか。食料・食品のあるべき姿とか実態もヒトがたどる道に沿って変化していくものであろう。何を食べようと欲するか、何を作ろうと思いつくかのサイクルが果しなく繰り返されることによって今日の「食」が出現しているのであろう。そこには良い点も悪い面も含まれている。ヒトのなせるワザであろう。食品の研究はこれからもこれまでの繰り返しのような発展をするのであろうか。食品の感覚特性という極く小さな窓から眺めても今後は大きな変革が

起るように思われる。そのキーワードは、生命科学・ゲノム科学と情報技術であり、将来は、これらに哲学・文明がさらに加わるのではと予期され、食品研究の今後の発展とともに将来の果実が楽しみである。

## 文 献

- 1) Hermansson, A. M. : *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **63**, 658 (1986).
- 2) Utsumi, S., Matsumura, Y. and Mori, T. : *Food Proteins and Their Applications*, eds by Damodaran, S. and Paraf, A., (Marcel Dekker), p257 (1997).
- 3) 森 友彦 : 日本農芸化学会誌, **62**, 882 (1988).
- 4) Thanh, V. H. and Shibasaki, K. : *J. Agric. Food Chem.*, **26**, 695 (1978).
- 5) Thanh, V. H. and Shibasaki, K. : *J. Agric. Food Chem.*, **27**, 805 (1979).
- 6) Utsumi, S., Damodaran, S. and Kinsella, J. E. : *J. Agric. Food Chem.*, **32**, 1406 (1984).
- 7) Utsumi, S. and Kinsella, J. E. : *J. Agric. Food Chem.*, **33**, 297 (1985).
- 8) Zheng, B. A., Matsumura, Y. and Mori, T. : *J. Food Sci.*, **56**, 722 (1991).
- 9) Zheng, B. A., Matsumura, Y. and Mori, T. : *J. Food Sci.*, **57**, 423 (1992).
- 10) Zheng, B. A., Matsumura, Y. and Mori, T. : *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**, 1366(1993).
- 11) Doi, E. : *Trends in Food Sci. Technol.*, **4**, 1 (1993).
- 12) Eads, T.M. : *Trends in Food Sci. Technol.*, **5**, 147 (1994).
- 13) Hermansson, A.M. : *Food Structure-Its Creation and Evaluation*, J.M.V.Blanshard and J.R.Mitchell(Eds), Butterworth, London, p25 (1988).
- 14) 松村康生・森 友彦 : *New Food Industry*, **30**, 59 (1988).
- 15) Clark, A.H., Judge, F.J., Richards, J.B., Stubbs, J.M. and Suggett, A. : *Int.J.Peptide Protein Res.*, **17**, 380 (1981).
- 16) Hermansson, A.M. and Buchheim, W. : *J.Colloid Interface Sci.*, **81**, 519 (1992).
- 17) Langton, M. and Hermansson, A.M. : *Food Hydrocoll.*, **5**, 523 (1992).
- 18) Stading, M., Langton, M. and Hermansson, A.M. : *Food Hydrocoll.*, **7**, 195 (1993).
- 19) Arntfield, S.D., Murray, E.D. and Ismond, M.A.H. : *J.Texture Studies.*, **21**,295 (1990).
- 20) Arntfield, S.D., Murray, E.D. and Ismond, M.A.H. : *J.Texture Studies.*, **21**, 191 (1990).
- 21) Arntfield, S.D. and Murray,E.D. : *J.Food Sci.*, **57**, 640 (1992).
- 22) Bottcher, S.R. and Foegeding, E.A. : *Food Hydrocoll.*, **8**, 113 (1994).
- 23) 土井悦四郎 : 日本食品工業学会誌, **39**, 1163 (1992).
- 24) Beveridge, T., Jones, L. and Tung, M.A. : *J.Agric.Food Chem.*, **32**, 307 (1984).
- 25) Ker, Y.C., Chen, R.H. and Wu,C.S. : *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**, 536 (1993).
- 26) Yuno-Ohta, N., Maeda, H., Okada M. and Hasegawa, K. : *J.Food Sci.*, **57**, 86 (1992).
- 27) Tani, F., Murata, M., Higasa, T., Goto, M., Kitabatake, N. and Doi, E. : *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**, 209 (1993).
- 28) Stading, M. and Hermansson, A. M. : *Food Hydrocoll.*, **5**, 339 (1991).
- 29) Nakamura, T., Utsumi, S., Kitamura, K., Harada, K. and Mori, T. : *J. Agric. Food. Chem.*,

- 32, 647 (1984).
- 30) Nakamura, T., Utsumi, S. and Mori, T. : *Agric. Biol. Chem.*, **49**, 2733 (1985).
- 31) Zheng, B. A., Matsumura, Y. and Mori, T. : *Phytochem.*, **33**, 989 (1993).
- 32) Zheng, B. A., Matsumura, Y. and Mori, T. : *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**, 1257 (1993).
- 33) 森 友彦・川端晶子編：食品のテクスチャー評価の標準化(光琳、東京), p 85 (1997).
- 34) Szczesniak, A. S. : *J. Food Sci.*, **28**, 385 (1963).
- 35) Szczesniak, A. S., Brandt, M. A. and Friedman, H. H. : *J. Food Sci.*, **28**, 397 (1963).
- 36) Friedman, H. H., Whitney, J. E. and Szczesniak, A. S. : *J. Food Sci.*, **28**, 390 (1963).
- 37) Yanagisawa, Y., Tamura, A., Akasaka, M. and Teramoto, Y. : *Japanese J. Pedia. Dent.*, **23**, 962(1985).
- 38) Kang, I. J., Hayashi, Y., Matsumura, Y. and Mori, T. : *J. Masticat. Health Soc. (Japanese)*, **1**, 33 (1991).
- 39) Kang, I. J., Matsumura, Y. and Mori, T. : *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **68**, 339 (1991).
- 40) Mohsenin, N. N. : *Physical Properties of Plant and Animal Materials* (Mohsenin, N. N., ed.), Gordon and Breach Science Publishers, p96 (1970).
- 41) Drake, B. : *J. Texture Studies*, **20**, 1 (1989).