

# 食感による美味しさのデザイン

～おいしい食感表現を物性と構造へ翻訳し、食品開発を具体化する～

明治大学農学部教授 中村 卓 (食品工学研究室)

食品開発では、感性的なおいしい食感表現(例:クリーミー・もちもち)の実現が求められる。そこで、おいしい食感は咀嚼による「変化」であるという立場から、食品構造の制御により感性的なおいしさをデザインする『食品構造工学』の方法論と具体例を紹介する。

## 1. おいしい食感

食品はタンパク質・多糖類・油脂のような複数成分からなる不均質な構造を持っている。これら高分子量成分は食品構造を形成する本体であり、その量や存在状態が食感に直接関与している。これら成分は①加工(混合/加熱/冷却/乾燥)によりどのような変化を経て食品構造を形成するのか? ②この食品構造が咀嚼による破壊でどのような力学特性と構造状態の変化を生じ、食感を発現するのか? これらの変化をブラックボックスではなく、具体的に数値化・視覚化できれば、効率的なものづくりとおいしい食感の実現につながるものと考えている(図1)<sup>1)2)</sup>。そのため、おいしい食感とはどのようなものか?まず目標を明らかにする必要があります。

ヒトの情報処理を研究する認知心

理学では、人間は外部情報を感覚(sensation)→知覚(perception)→認知(cognition)のボトムアップと逆方向のトップダウンの2つのルートで処理すると考えられている。食品のおいしい感性的な食感表現は認知レベルの高次情報処理されたいわゆる判断である。多くの場合、無意識で直感的なトップダウン処理のため感性的な表現を具体的に説明しようとすると困難を伴う。おいしい食感表現を具体化するためには、咀嚼過程における食感発現を人間への刺激として感覚・知覚・認識の流れに沿って意識化し解析する必要がある。食感は体性感覚の皮膚感覚(機械受容器)で、触・圧の機械的な刺激情報を脳に伝える。つまり、食感は咀嚼による食品の力学的・構造(幾何学)的な変化の過程で発現すると考えられる。一般的に機械受容器は鋭敏で、微小な変化に対して反応する。また、この感覚は刺激の相対的な値に比例する(ウエーパー・フェヒナーの法則)。つまり、咀嚼時に食品構造を圧縮破壊したときの応力・変形や流動の変化率がおおきく不連続的なほど、より強く機械受容器が反応すると考えられる。そのため、多様で不均質な構造を持つ食品ほど咀嚼

時の「おいしい食感」の系列は馴染みのある親近性からくると考えられ、両者のバランスや全体としての統一性すなわちゲシュタルト(Gestalt)が重要となる。

現在の食品開発では、知覚レベルの食感表現(かたい・やわらかい)ではなく、おいしさを示す感性的な食感表現(もちもち・もっちり/とろとろ・とろ〜り・クリーミーなどの擬態語・擬音語(オノマトペ表現))で示される質感の実現が求められている。そのため、おいしさを表現する感性的な食感表現を具体的に制御可能な食品属性に見える化する必要がある。例えば、咀嚼時の触・圧の機械的感覚は力学的要素のかたさ・ねばりと構造(幾何学)的要素の粗滑・大小として知覚される。さらに、ある食品がかたいと知覚しても第一咀嚼の前半(噛み初め)のかたさなのか後半(噛みしめた)のかたさなのか時間軸を特定する必要がある。このように咀嚼嚥下の時間経過の中で知覚変化を総合的に判断しておいしい食感を表現する。例えば、「もっちり」は1噛み目だけで使うが、「もちもち」は咀嚼回数を反映し、複数回噛んだ後に使う。促音や長音や繰り返しは口腔内の滞在時間や強調を示す。「モチモチ」カタカナ(シャープ・スタイリッシュ)・「もちもち」ひらがな(やわらかい・かわいい)文字表現の視覚的質感の差もある。この様に感性表現を分析することで具体化の目標が設定できる。さらに、新食感とは新表現・新イメージの言葉であると考えられる事が出来る。例えば、あまり食品に使われないがイメージを持った皮膚感覚で使われるオノマトペ(例えば、ぽよぽよ)を食感に使う。さらに、食感に使われ

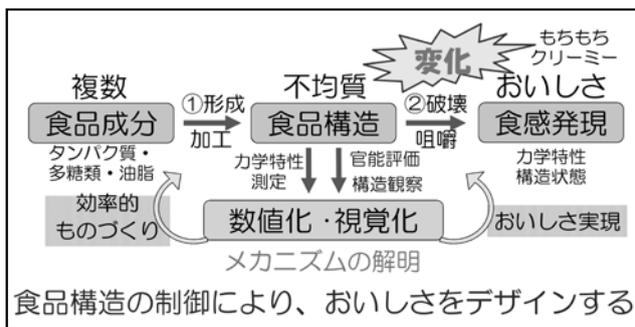


図1 食品構造工学の概念図

る馴染みのあるオノマトペを組み替えて新規に使用する。ふわとろ、サクとろ……。特に、対比の際立つ食感を組み合わせる方が新奇なおいしい食感になると考えられる。なお、言葉の共通感覚は経験から形成され、時代と共に変化することに注意が必要である(世代間格差)。

食感を表現する言葉は早川らによって日本語テクスチャー用語体系として整理されている<sup>3)4)</sup>。テクスチャー用語は445語で、大分類3、中分類15、小分類64に分類されている。大分類である力学的特性(mechanical attribute)、幾何学的特性(geometrical attribute)、その他の特性(other attribute)は、ISO11036 Texture Profileの3要素と対応している。この分類では、大分類において用語の重複を許しており、2つ以上の大分類に属している用語が69個ある。なかでも、「クリーミー」と「口どけが良い」の2語だけが中分類3つのすべてにリストアップされている。具体的に「クリーミー」は、「1力学特性1.6.3流れやすさと濃厚感」「2幾何学的特性2.3.2なめらかさと均一性」「3その他の特性(油脂と水)3.1.1油脂の濃厚感」の3ヶ所に記載されている。「クリーミー」は「おいしさ」を表現する言葉であるが、複数の異なる食品属性感覚が含まれていると考えられる。そのため、どの食品属性が重

要かは対象食品や個人により異なる場合があることに注意する必要がある。

## 2. おいしい食感デザインへのアプローチ法

おいしい食感デザインするための具体的なアプローチ方法を図2に示した。(イ)咀嚼過程の意識化(左側)と(ロ)構造破壊の単純モデル化(右側)を行い、(ハ)おいしい感性食感の見える化を行なう。まず、人間の咀嚼→嚥下の過程から認知としての感性的な食感表現(例えば、もちもち)を食品属性に対応した知覚としての食感表現(噛み始めや柔らかいが噛み始めると硬く第二咀嚼以降もその硬さが残り、歯や口腔粘膜で付着性を感じる)に仮説化し官能評価で検証する。すなわち(イ)咀嚼過程を時間経過・咀嚼部位を意識化することで具体化する。次に、その知覚変化に対応した機器を用いた大変形による破壊計測系で力学パラメーターを数値化(ロ)する(歯でかむ場合は試料に治具を貫入させる破壊パターンで荷重歪曲線を得る。時間変数を含み第一咀嚼に相当する)。さらに、その破壊時の構造状態を顕微鏡で観察し破壊プロセスを可視化しメカニズムを明らかにする(伸びる性質がもちもち感を発現)。官能評価と組み合わせ検証(ハ)する。例えば、もちもち食感と歪率25%と75%の荷重比などのパラメーターとの統計

解析を行なう。以上の結果から、もちもち食感をデザインする。例えば、表面はやわらかく、中心がかたい2層構造(不均質構造)を持つ食品に、さらに連続相と界面相互作用を有し伸び易く破断し難い増粘多糖類(例えば、ローカストビーンガム/キサンタンガムの混合系)を使用することで「もちもち」食感を付与することが出来ると考えられる。この様に感性食感を破壊時の力学特性・構造状態へと翻訳することが出来れば、具体的に食品を開発するための方策を考えることが出来る。

## 3. クリーミー食感：ヨーグルトの破壊過程の解析

ヨーグルトのおいしさの表現として「クリーミー」がある。このクリーミーは「風味」と「食感」の両面から総合的に評価される。さらに、クリーミー食感は知覚レベルの力学的要素と構造的要素の両方から複合的に認知される。この「クリーミー食感」と、その知覚レベルの食感要素について時間軸を取り入れた官能評価を行い(イ)、さらに破壊に着目した力学特性・構造を明らかにし(ロ)、両者を相関づけ統計解析する(ハ)。この感性的な食感表現を咀嚼過程の時間軸を踏まえて見える化した例を示す。

市販ハードタイプヨーグルト3種類(A)、(B)、(C)を試料とした。官能評価において、まず一般的な方法である、Quantitative Descriptive Analysis(QDA)法を用いた。これは、指定した感覚の強度を採点する方法で、今回は咀嚼の前後半に分けた知覚食感7項目とクリーミーの計8項目について7段階で採点した。QDA法で「クリーミー」について評価した結果、(A) > (B) > (C)の順に高かった。また主成分分析の結果、クリーミー食感は「やわらかくなめらかで粘りのある食感」であることが明らかとなった。(C)は、かたいため最も「クリーミー」が低くなったと考えられる。

さらに、時間軸を組み込んだ官能評価法として、Time Intensity(TI)法を用いた。これは、ある1つの感覚の強度を経時的な連続時間で評価する。また、Temporal Dominance of Sensations(TDS)法も行った。

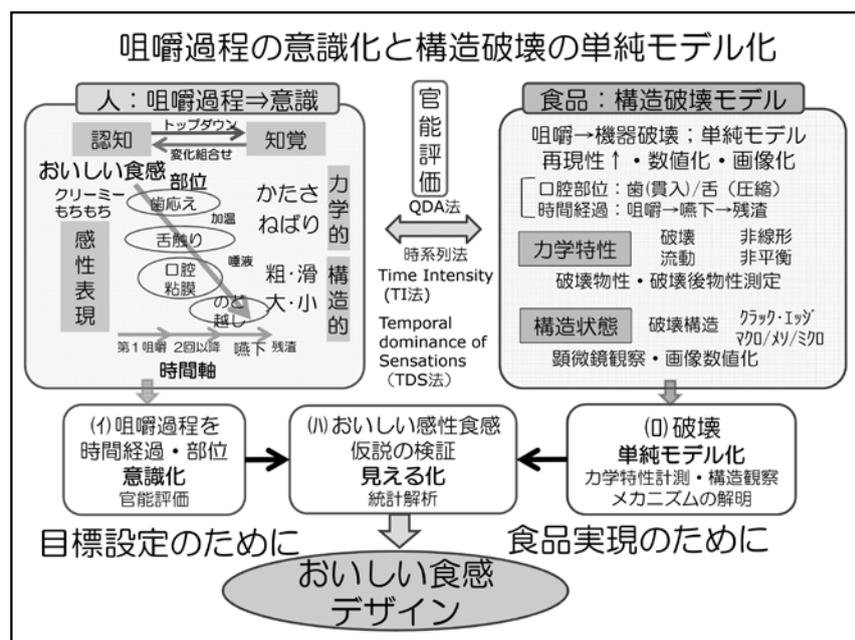


図2 おいしい食感デザインへのアプローチ法

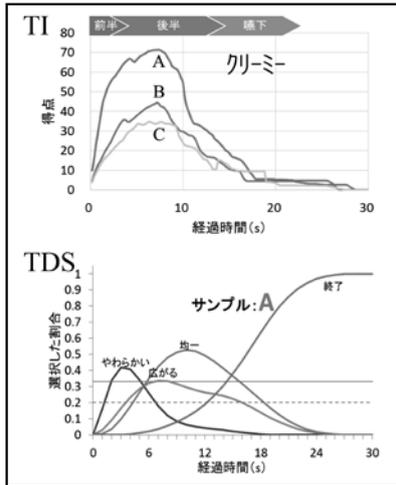


図3 TI法およびTDS法による官能評価

これは、最も強く感じた感覚をその変化に応じて選択することで、複数の感覚の時系列変化を同時に測定する。ここでは、クリーミーのTI法とサンプル(A)のTDS法の結果を図3に示した。TI法で「クリーミー」について評価した結果、咀嚼後半に感覚強度が最も高くなった。これは咀嚼後半の知覚食感を想定したQDA法で「舌触りのなめらかさ」と「粘り」が重要である主成分分析の結果と一致した。また、試料間で比較すると、感覚強度は(A) > (B) > (C)であり、QDA法の結果と一致した。TDS法では(A)で「均一さ」を感じる人の割合が有意に高かった。したがって、クリーミー食感において重要な幾何学的要素である構造の均一さは、咀嚼後半に感じる事が明らかとなり、(A)は、その構造の均一さにより最も「クリーミー」が高くなったと考えられる。

ヨーグルトの咀嚼破壊は舌を使うので、そのモデルとして平板治具を用い試料全体を圧縮する破断強度試験(応力歪試験)を行い、その時の破壊構造を観察した(図4)。デジタルカメラで撮影した歪率99%まで圧縮したヨーグルトの巨視的構造観察において、破壊により生じた(A)の破片の平均サイズが1044pix/破片と最も小さかった。歪率50%圧縮後の走査型電子顕微鏡(SEM)観察の結果、(A)ではネットワークが引きちぎられている様子が見られ細かい亀裂が形成されていた。一方(C)では50%圧縮ではネットワークが保持され亀裂は見られなかったが、99%圧縮で太く長い亀裂が形

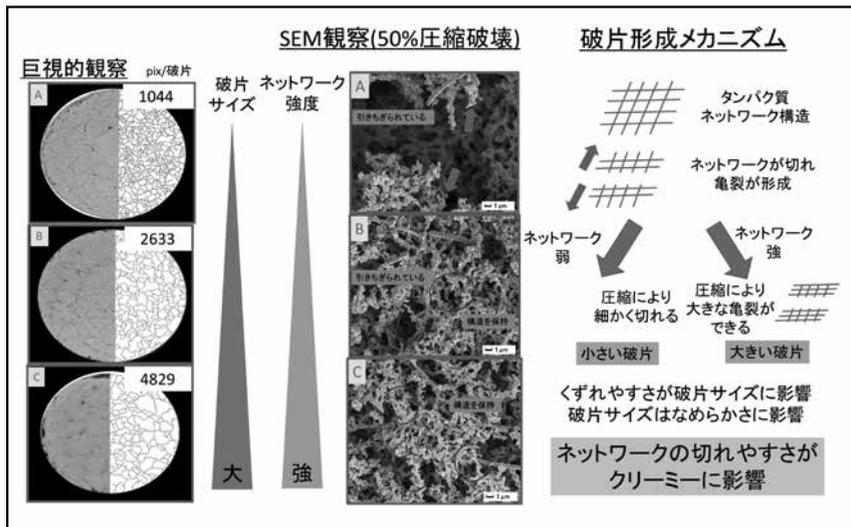


図4 ヨーグルトの破壊構造観察

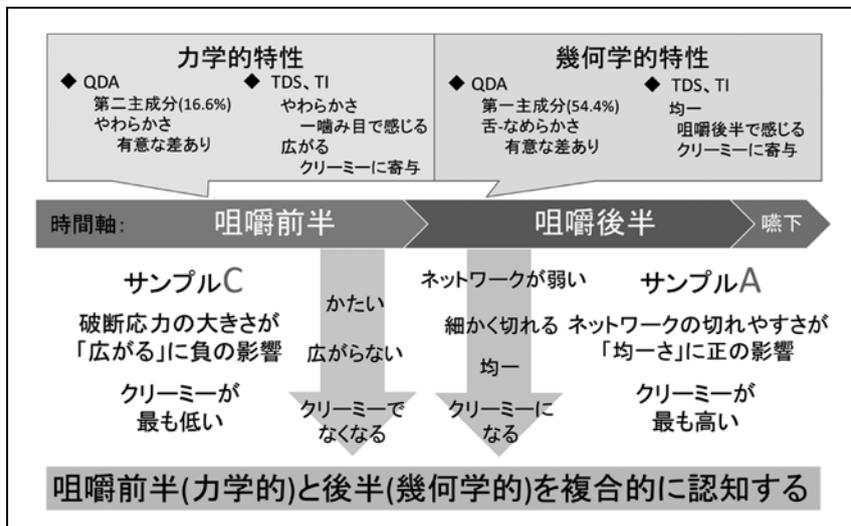


図5 ヨーグルトのクリーミー食感の見える化

成された。想定される大小破片の形成メカニズムを図4右側に示した。紙面の関係上ここでは示していない結果も含めたまとめを図5に示した。ヨーグルトのクリーミー食感は最初押しつぶす時の力学特性「やわらかさ」と、つぶした後の幾何学(構造)特性「均一性」・「破片の小ささ」が寄与していることが明らかとなり、カゼインミセルのネットワークの切れやすさが重要であった。

以上のように、人は咀嚼前半に力学的性質、つまり「やわらかさ」を、咀嚼後半に幾何学的性質、つまり構造の「均一さ」を判断し、ゲシュタルトとしての「クリーミー食感」を認知することが明らかとなった。

#### 4. 「もちもち」食感：タピオカ澱粉の伸びる性質

「もちもち」食感を発現する素材とし

てタピオカ澱粉が知られている。図2で示したアプローチにより、タピオカを添加すると、ゲル状食品を圧縮変形したときにタピオカ澱粉粒が伸びた構造をとり、ゲルがやわらかく壊れにくい性質を表した。そのために力学測定において低歪率における応力が小さく、高歪率においては応力が大きくなり、また複数回圧縮したときに応力が保持される性質を示したと考えられた。以上の力学的性質を咀嚼過程における人間の知覚表現と関連づけると、『噛み始めは応力が小さい、すなわちやわらかいが、噛みしめたときは応力が大きく噛み応えがある。咀嚼2回目以降もその応力が持続し歯応えが持続する。さらに咀嚼中に少し付着性がある、すなわち少し歯にくっつく』ことで、人間は「もちもち」という食感を認知していると考えられた。

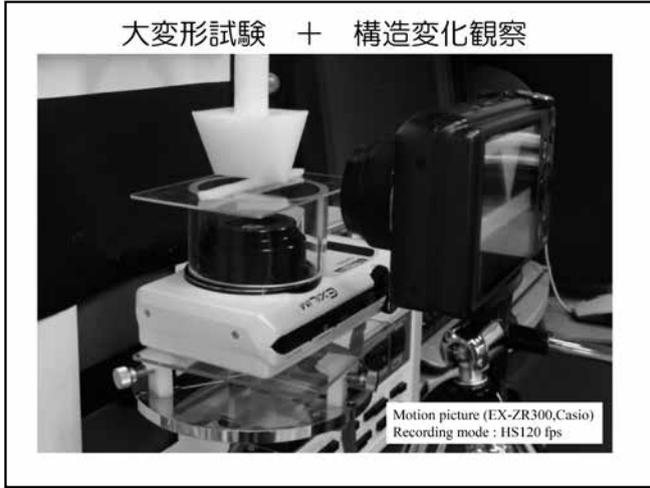


図6 大変形試験と同時に構造変化観察

ここでは、似た食感を示すワキシーコーンスターチ（糯種澱粉）とタピオカ澱粉のもちもち食感違いについて、物性・構造から比較を分析方法の例として示す。破断強度試験において荷重歪曲線を得るだけでなく、試料の変形時の様子を2台のデジタルカメラで動画撮影する（図6）ことにより、応力変化の構造的な理由を明らかにできる。得られた荷重歪曲線と引き込み率を図7上段に示した。タピオカはワキシーにくらべ低歪ではやわらかく高歪ではかたいことが明らかとなった。その理由は高歪でも治具にまわりつき引き込み率が上昇し続けたためと考えられる。このときのSEM観察の結果を図7下段に示した。ワキシーでは伸び方

を生じ、もちもち食感を発現していると明らかとなった。

## 5. 最後に

おいしい食感をデザインするためにはどのような食品属性が必要か？ 食品構造の不均質さが口腔内で破壊による変化を大きくし、新奇なおいしい食感へとつながると考えている。おいしい感性食感を見える化するアプローチ法（図2）は、おいしい新食感をデザインする全ての食品の開発に応用できると期待している。実際の食品は複数成分が多様な局在構造をとる個別事例である。しかし、食品の多成分不均質構造の形成と破壊を電子顕微鏡観察からイメージ化する食品構造工

学（図1）は、「おいしい」を得るために「どのような不均質構造をいかにして安定的に製造するか」具体的アイデアを導き出す基盤となり、効率的なものづくりとおいしい食感デザインの実現に貢献できると期待している。

学（図1）は、「おいしい」を得るために「どのような不均質構造をいかにして安定的に製造するか」具体的アイデアを導き出す基盤となり、効率的なものづくりとおいしい食感デザインの実現に貢献できると期待している。

### 〈参考文献〉

- 1) 渡部幸一郎、水越実、中村卓：食品加工技術、27,131-140 (2007)
- 2) 上川理絵、中村卓：日本食品科学工学会誌、63 (6) ,282-286 (2016)
- 3) 早川文代：日本食品科学工学会誌、60 (7) , 311-322 (2013)
- 4) Hayakawa et al.:<http://www.naro.affrc.go.jp/nfri/introduction/files/2013-yougotaikei.pdf>

### 〈著者略歴〉

中村 卓（なかむら・●●●●）

京都大学大学院農学研究科食品工学専攻 博士課程修了（農学博士）。  
企業を経て明治大学農学部に着任（農芸化学科食品工学研究室担当）現在に至る。  
専門分野は食品科学・食品工学、おいしさを食品構造から追究。趣味は鎌倉古道ハイキングと観る将棋。

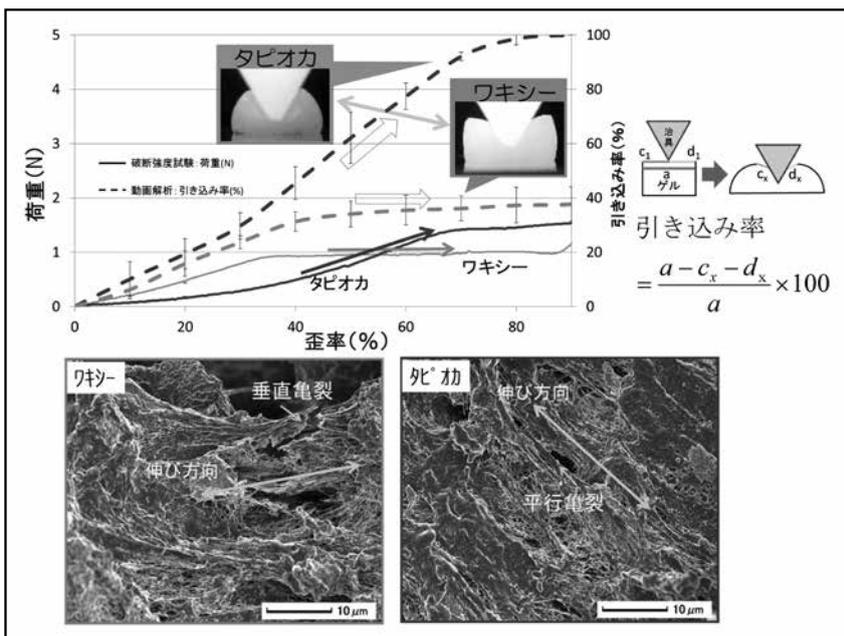


図7 ワキシーコーンスターチとタピオカ澱粉のゲルを用いた破断試験（荷重歪曲線）と構造変化観察（引き込み率・SEM観察）