

食品構造工学への招待

中村 卓
《明治大学農学部 教授》

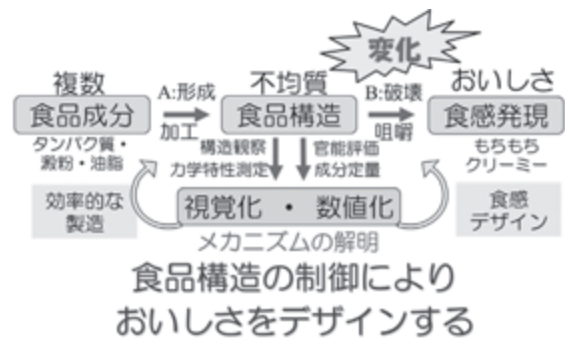
食品に望まれる属性として、安全・健康・おいしさ・価格があります。私たちの食品工学研究室では「おいしさ」を食品サイドから追究し、食品構造の制御によりおいしさをデザインする『食品構造工学』の確立を目指しています（第1図）。特に、おいしさは咀嚼による食品構造の破壊に伴う変化にあるという立場から研究を進めています。今回、随想の機会を頂いたので、普段は書かない、どのようにして「食品構造工学」の考え方を展開したのかを示したいと思います。今後も皆さまのご意見を頂きながら、おいしい食品の開発により役立つように食品構造工学をブラッシュアップして行きたいと思っています。

私は大豆タンパク質の加熱ゲル化に関する研究で博士号を取得しました。電子顕微鏡を使ってタンパク質が加熱変性して数珠状に会合してネットワーク構造を形成するゲル化過程を明らかにしました。食品企業に就職し澱粉・油脂の研究開発を行いました。20年前に大学に移ったときに主宰する食品工学研究室の目標とテーマを考えました。まず自分の特徴を振り返り、

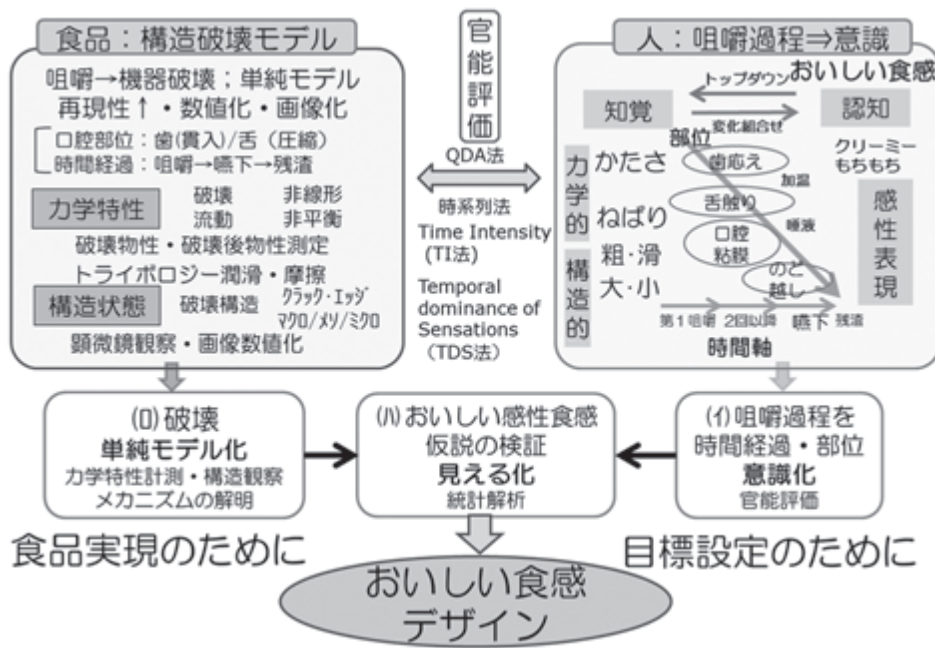
- ①企業の研究開発だけでなく生産から販売まで関与した経験（複眼）
- ②食品素材としてタンパク質・多糖類・油脂を扱った経験

を活かしたい。そこで、社会に貢献できる人材の育成と食品業界に役立つ研究を行うことを研究室の目標にしました。具体的なテーマとして食品産業に役立つためには多成分系食品での研究が必要であると考えました。ちょうど各成分別単独のゲル化のメカニズムがほぼ明らかになってきていたので、多成分系を対象とした研究は少なかったのですが、多成分系での研究を進められる時期ではないかと判断しました。多成分モデル系から構造形成メカニズムを抽出し、イメージ化し、さら

に、実際の食品でも起こっていることを示せば、試行錯誤ではなく、方針（イメージ）を持って食品を開発できる役立つ研究になると考えました。幸運なことに定価ベースで2億6千万円の高性能な電子顕微鏡（SEM・TEM）が農学部設置されました。食品の微細構造を明らかにする武器を手に入れることが出来ました。そこで、食品構造の制御からおいしさを追求する食品構造工学のコンセプトを考えました。初めの食品構造工学は食品構造の形成に焦点を当てていました。第1図に示した左から真ん中あたりの構造形成の流れです。食品構造を形成する本体であるタンパク質・多糖類・油脂が、食品加工（混合/加熱/冷却）の過程でどのように食品構造を形成するのか？を多成分系で明らかにしようとしていました。スタートは食品構造をいかにつくるかでした。次に、出口として食感を考えました。固形状食品の食感咀嚼により構造を破壊する過程で発現する点に着目し、構造破壊のメカニズムを明らかにすることにより、どのように食感を発現するのか？を理解する必要があると考えました。しかし、企業の食品開発で望まれるのはおいしい食感です。「かたい・やわらかい」のレベルの食感ではありません。おいしさはどのような構造が破壊するとき発現するのか？つまり、おいしい構造をいかにつく



第1図 食品構造工学の概念図
(カラー図表をHPに掲載 C009)

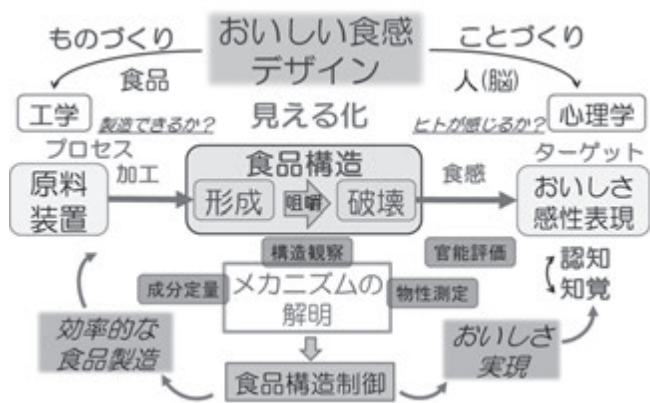


第2図 咀嚼過程の意識化と構造破壊の単純モデル化 (カラー図表をHPに掲載 C010)

るかにバージョンアップしました。人が評価するおいしさをターゲットにするためには、官能評価が重要になります。学術的な証明はなかなか難しいのですが、おいしさは変化の中にあると考えています。時間軸が大切です。おいしく食べているとき、噛み始めから嚥下まで意識しません。おいしさを説明しようとして、知覚的な要素に分けて時間軸を意識して分析的に食べると、途端においしさはどこかに行ってしまいます。おいしさはゲシュタルト的な脳のトップダウン処理だと考えられます。しかし、おいしさを実現するためには、咀嚼の時間軸上で知覚のボトムアップとしておいしさを見える化する必要があると考えています。この様な妄想を具体化するために、第1図の真ん中から右の部分、すなわち構造破壊とおいしい食感に注目しました。第2図に示したように、咀嚼過程の意識化と構造破壊の単純モデル化を組み合わせるとおいしい感性食感を見える化することにより、おいしい食感をデザインできると考えました。このおいしい食感デザインするために以下の3つのステップ

- (i) 咀嚼過程の意識化 (右側)
- (ii) 構造破壊の単純モデル化 (左側)
- (iii) おいしい感性食感の見える化

を行います (第2図)。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 (噛み始めやわらかいが噛みしめるとかたく第二咀嚼以降もそのかたさが残り、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します。すなわち (i) 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します。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 (ii) する (歯で噛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 (iii) する。例えば、もちもち食感と歪率が25%と75%の荷重比などのパラメーターとの統計解析を行う。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



第3図 食品構造工学：おいしさを食品構造から追究
(カラー図表をHPに掲載CO11)

もち」食感を付与することが出来ると考えられます。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と期待しています。

現在の食品開発では、知覚レベルの食感表現(かたさ・粒の大きさ)ではなく、おいしさを示す感性的な食感表現(もちもち・クリーミーなどの擬態語・擬音語(オノマトペ表現))の実現が求められています。現時点での、最新の食品構造工学の概念図を第3図に示しました。おいしい食感をデザインするためには、人からのアプローチ(ことづくり)と食品からのアプローチ(ものづくり)

の両方が必要です。人がどう感じるのか?製造できるのか?私は、おいしさは変化であるという立場から、食品構造の形成と破壊の過程に着目しています。おいしい感性食感の見える化を行います。人が評価する官能評価で、咀嚼による「もちもち」や「クリーミー」のようなおいしい感性食感表現をかたさや粘り等の物理的単位と相関性のある知覚レベルの食感へ翻訳します。また、咀嚼のモデル破壊として機器分析で力学特性とマクロレベルの破壊構造を計測し、メゾレベルの構造状態を電子顕微鏡で観察することで、破壊のメカニズムを明らかにします。おいしい食感をデザインするためには食品構造がどのように破壊されるかが重要です。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す。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は、「おいしい」を得るために「どの様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さの実現に貢献できると期待しています。ぜひ、食品構造工学の視点・アプローチ法を皆さまの研究開発で活用頂ければ嬉しいです。ご不明な点・質問等があれば連絡頂ければと思います。普遍的な原理は現場でこそ顕在化すると考えています。