

食感性モデルによる「おいしさ」創造技術 への展開

相良 泰行

Sagara Yasuyuki

東京大学大学院農学生命科学研究科

食感性モデルによる「おいしさ」創造技術への展開

相良 泰行

Sagara Yasuyuki

東京大学大学院農学生命科学研究科

1. はじめに

一般に食品は3つの機能を有しているとされている。一次機能として、エネルギー源や体をかたちづくる成分としての栄養機能が挙げられ、糖質、脂質、タンパク質などの成分がこれに関与する。また二次機能として、食べる喜びを感じとらせる感覚刺激機能があり、味・匂い・色・テクスチャといった要素がこれに関連する。加えて、三次機能として代謝機能・自然治癒力・免疫力を維持・増進する生体調節機能がある。これら3つの機能のうち、食品開発において、特に嗜好性の高い食品を設計する場面においては、二次機能すなわち感覚刺激機能をいかに高めるかが重要な課題となる。そのため、開発段階の試作品について感覚刺激機能の高さを定量的に評価し、またその要因を明らかにする手法の開発が重要となっている。

食品の有する感覚刺激機能を定量的に評価する手法は、ヒトを利用する手法と機器を利用する手法の2つに大別される。官能評価に代表されるヒトを利用する手法では、現実にヒトが対象の食品を摂食した際に生じる味、香りおよびおいしさの程度を比較ないし絶対的に評価することによる定量化が行われる。しかし、官能評価については、いくつかの問題点が指摘されている。まず、評価結果に官能評価パネルの体調・気分や、評価が行われる場所・環境といった多様な要素が影響するために、再現性の高い評価結果の導出が困難である場合が多い。また、信頼性の高い結果を得るために複数パネルによる評価が行われるが、一般の食品開発の現場周辺においてパネルを募り、時間の確保を得ることは存外に難しく、簡便性は高く

ない。さらに食品成分の差異が微少であり、言われてみれば気付く程度には香味に影響を与えているものの、明確には評価結果に差が生じないという評価精度の問題も指摘されている。

機器を利用する手法は、対象とする食品の種別と計測対象要因により多数あり、比較的汎用性の高い計測機器としては、糖酸度センサー、GC-MS、粘弾性測定装置などが挙げられる。機器の性能にもよるが、官能評価について指摘される再現性、簡便性、および評価精度の問題点は、機器計測においては改善ないし軽減される。他方、機器計測により評価される物理量とヒトの感覚量とは必ずしも比例する関係にないことから、別途、計測値と味、香り、あるいはテクスチャーの評価値との関連性を明らかにしておく必要が生じる。ここに感性モデリングの必要性があり、感性モデリングの主な目的は、この物理量と感覚量の関連性を明らかにすることにある。

本稿では食感性モデリングの概要と、このモデルを用いて新商品のおいしさを設計した事例、さらに、香り成分の強度と特徴の分析にヒトの嗅覚を用いる Gas Chromatography/Olfactometry (GC/O) により、インスタントコーヒーのアロマを維持するための最適凍結乾燥温度条件を探索した例について紹介する。

2. 「おいしさ」とは

2.1 おいしさの要因

物理量と感覚量との関連について詳細を述べる前に、おいしさに影響を与える要因を定めるべきであろう。おいしさに影響する要因は、図1に示すように知覚的要因、要求的要因および認知的要

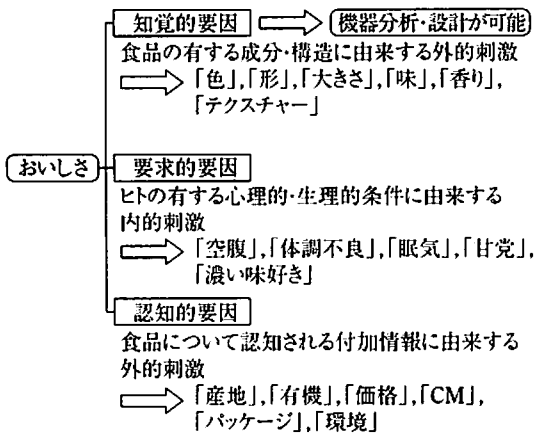


図1 「おいしさ」が生起する要因

因の3つに大別される。知覚的要因とは、食品の有する外観・成分・構造に由来する外的刺激を指し、摂食により味、香り、あるいはテクスチャーなどの知覚を生じることを通じておいしさに影響する要因である。例えば飲料について、グルコースに由来する甘みと、クエン酸に由来する酸味の両者を通じて「清涼感のあるおいしさ」が感じられる場面において、おいしさの要因は、知覚的要因すなわち適当なグルコースおよびクエン酸濃度であるといえる。

次に、要求的要因とは、ヒトの有する心理的・生理的条件に由来する内的刺激を指し、甘党、濃い味好き、あるいは空腹であるといったヒトの嗜好や状態を通じておいしさに影響する要因である。「蓼食う虫も好き好き」と言われる通り、同じ食品についても食べるヒトによって感じられるおいしさが異なることが多い。また同じヒトでも、体調が優れなかったり、空腹であったりすることによって、同じ食品に感じられるおいしさに大きく差のあることは誰も経験しているところである。このような場合には、おいしさの要因は要求的要因であり、おいしさは食品に起因する要因ではなく、それを摂食するヒトの条件により説明される。

最後に認知的要因とは、食品について認知される付加情報に由来する外的刺激を指し、食品の価格、企業イメージ、パッケージデザイン、宣伝・コミュニケーション情報あるいは消費する場面・環境など、可食部の成分・構成以外の製品属性や消費状況から生じる認知を通じておいしさに影響する要因である。例えば、薬理学的に効果のない

薬を鎮痛薬として与えると30%の人に鎮痛効果が認められるといったプラセボ効果は医薬の分野で有名だが、これと同様においしさについても、より高価であること、有名企業の製品であること、あるいは好ましいパッケージデザインであることが認知されると、その食品を摂取した際に感じられるおいしさは高まる傾向が知られている。このとき、おいしさの要因は認知的要因であり、食品の付加情報がおいしさを左右したといえる。

2.2 新食品開発手法の特異性

消費者の嗜好にマッチした製品を設計する際に、まず問題となるのは、消費者の求める味や香りと、開発段階における新製品の設計要素が大きく乖離している点である。工業製品、例えばノート型パソコンの場合、消費者の求める仕様は、ハードディスク容量は80GB以上、重量は1.5kg以下、またバッテリーによる駆動時間は5時間以上、といった具合に消費者自身によって数値的に表現することが可能であり、これら消費者欲求の実現に係わる工学的な要因は既知であることが多い。

これに対して食品の場合、例えば緑茶飲料では、消費者の求める香味は「すっきり感」があり「こく」が感じられること、といった具合に感覚的な表現がなされるが、開発担当がこの香味を実現する茶葉の品種、あるいは加工方法などの最適条件をあらかじめ理解していることは稀であろう。消費者を起点とした食品の開発を進めるためには、開発と生産に関与する技術者が、まず消費者の求める味や香りの具体的イメージを共有ないし共感する必要があり、またその具体的イメージを実現する設計・製造法を探索する必要がある。すなわち、マーケティングによって得られる嗜好の定量化された情報とこれに基づく商品機能・品質の設計および最適製造法の確立に対処する必要性がある。これらの特異性と必要性に対処する方法論としての食感性モデリングについて次節以降に紹介する。

3. 食感性モデリング

3.1 「おいしさ」の五感コミュニケーション

食品のおいしさはヒトの知覚器官を総動員して評価されるが、そのプロセスでは「五感コミュニケーション」が重要な役割を演じている。例えば、鼻をつまんでジュースを飲むと味に変化が生ずる。

これは鼻をつまむという行為が味覚と嗅覚との間のコミュニケーションを阻止したためである。また、筆者らは酸っぱいリンゴは硬く、甘いリンゴは柔らかく感じることを、さらに緑茶製品のペットボトルが中身の香味評価に多大な影響を及ぼすことを指摘した。これらの事実は、単一の知覚器官によりおいしさが評価されることは減多にないことを示唆している。したがっておいしさの創出技術には五感コミュニケーションの効果を評価する方法論が求められる。食感性工学のパラダイムと手法の構築に当たっては、「食」にまつわるヒト個人の五感コミュニケーション、さらには消費者間のコミュニケーションを起点とした顧客満足型の新食品開発や加工プロセスの最適化などに役立つ手法の開発が肝要であると考えた。

食感性工学の根幹をなす「食感性モデル」は、このようなおいしさの生起・伝搬過程を定量的に表現・評価することを目的とした数理モデルである。

3.2 食感性モデル

本誌7月号で紹介した「食感性工学」のパラダイムと方法論は、消費者を起点とした新しい科学技術の発展に有用と考えられ、その中核モデルとして「食感性モデル」を考案した。このモデルは新製品の設計、最適製造法の探索およびマーケティングなどに役立てることを目的とした数理モデルであり、顧客満足型の新商品開発にも役立つものと期待されている。

図2に食に関する消費者の五感コミュニケーションを表す「食感性モデル」を示した。このモデルを考案した目的は、「個人」が「食行動の短期間」に「感情変化(おいしさ)」を生起するプロセスを「定量的に評価」して「製品設計および製造方法の

最適化に役立てる」ことにある。ここに述べたような前提条件の下で、食感性に係わる因子を想定した。すなわち図に示すように、食品は「内的属性(物理化学的属性)」と「外的属性(情報)」、他方、ヒトは「知覚」と「嗜好」、「認知」と知識や記憶などに由来する「態度」、そして「感情(おいしさ)」を有するものとした。「物理化学的属性」は、味覚・嗅覚さらに皮膚や口腔内の触覚によりセンシングされ、嗜好とのコミュニケーションを通じて、おいしさに影響を及ぼす。特に、ヒト個人が有する嗜好がおいしさを評価する尺度となる。対照的に「情報」は、認知的要因としておいしさに影響する食品の付加情報を指すものとする。例えば、GC-MSにより計測される飲料の揮発性成分に関する量的データは「物理化学的属性」であり、包装材料に記載される商品名、メーカー、原材料などの質的データは「情報」として扱うものとする。

「知覚」は、外界の知覚的要因が感覚器官、すなわち五感に与える刺激作用を通して、ヒトの脳内に生じる有意味な対象を指し、5つの基本味を含む多次元の属性により構成されると考えられる。また「嗜好」は、知覚された対象ないし属性から生じるおいしさの評価パターンを指し、要求的要因としておいしさに影響する因子と考えられる。

「認知」は、外界の認知的要因が、やはり視聴覚を主とする感覚器官を通して、ヒトの脳内に生じるイメージを指し、「態度」は、このイメージと関連する知識・記憶などを指すものとし、広義の要求的要因としておいしさに影響する。また最後の「感情」は、おいしさにほぼ等しいが、仕事上がりのビールに感じる爽快なおいしさ、高級料理店のフォアグラのポワレに感じる滋味のあるおいしさなど、食品ごとに多様性が認められる。以下に、これらの因子を介しておいしさが生じる過程を説明する。

(1) 物理化学的属性から感情に至る過程

おいしさの生じる過程のうち、本モデルの扱う最も基本的な経路は、まず食品の物理化学的属性が味覚・嗅覚・触覚により甘味や酸味として知覚され(経路①)、知覚と嗜好が合致するときに(経路②)、感情、すなわち、おいしさが生じるとする経路である。例えば、グレープフルーツジュースにおいしさを感じる時、その過程としては、ま

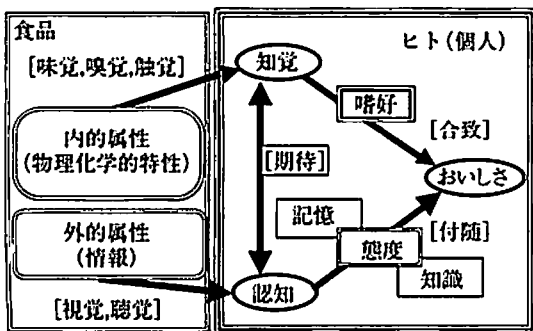


図2 食感性モデル: 「おいしさ」の五感コミュニケーション・モデリング

ずグレープフルーツに含まれる糖，有機酸およびリモニンなどの成分が，それぞれ甘味，酸味および苦味などの知覚を生じ，甘酸っぱさとほのかな苦みを好む消費者の嗜好に合えば，おいしさが感じられるものと解釈する。

(2) 情報から感情に至る過程

前項で説明した経路に並行する経路として，食品の情報が視聴覚により認知され（経路③），認知に関連する記憶ないし知識をベースにして培われたヒト個人の挙動，すなわち，ブランド好みといったような「態度」に付随する感情が生じるとする経路（経路④）が考えられる。再びグレープフルーツジュースを例にとると，「フロリダ産」，「低農薬栽培」などの付加情報が認知されると，現地で搾り立てのジュースを飲んだ旅行の記憶や，低農薬で健康に安心であるという知識が呼び起こされ，さらに，TVコマーシャルなどが直感的に「態度」に影響を及ぼし，これに付随する感情が生じるということは大いに起こり得ると考えられる。

(3) 知覚と認知の対応経路

上述した2つの経路はそれぞれ独立ではなく，相互に影響し合い，補完する関係にあると考えられる（経路⑤）。例えば，飲用前には何のジュースか分からない飲料を飲むことにより，甘味と酸味とわずかな苦味が知覚されると，推測により飲料がグレープフルーツであることが認知される，という場合も考えられる。対称的に，飲用前にグレープフルーツジュースであることが認知されてい

れば，甘味と酸味とわずかな苦味が期待されることも考えられる。

3.3 食感性関数および解析ツール

これまで述べた各過程を数理モデルとして扱うためには，各因子を変数または係数と定め，これらの変数・係数間の関係を関数として記述する必要がある。そこで，これらの変数間の相互関係を示す関数を，表1に示すように「感性関数」と定義した。また，これらの関数の解析ツールとして，筆者らの研究グループが頻繁に利用している解析ツールの例を図3に示した。例えば，KJ法により収集した官能評価用語には多変量解析を適用して，収集した用語の類似度・使用頻度・認知度を分析し，実際に官能評価に用いる評価用語をできるだけ客観的に抽出している。また，図2に示した食感性モデルに含まれる全ての因子間の相互依存関係，例えば食品の「物理化学的特性」と「価格情報」が消費者の感情変化，例えば「おいしさ」

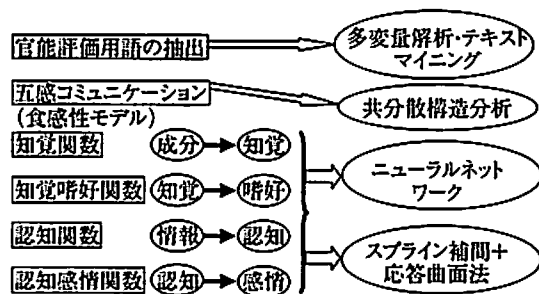


図3 食感性関数と主な解析ツール

表1 食感性モデリングで定義される変数と係数

因子	変数・係数	内容	尺度	評価方法
成分	<i>I</i>	Ingredients: 成分	連続	機器分析
情報	<i>A</i>	Additional Information: 付加情報	名義	操作因子
知覚	<i>P</i>	Perception: 知覚	連続	官能評価 因子分析
嗜好	<i>H</i>	Hedonic Scale: 嗜好尺度	—	回帰分析
認知	<i>C</i>	Cognition: 認知	名義	記述的評価 テキストマイニング
記憶	<i>M</i>	Memory: 記憶	—	回帰分析
感情	<i>L</i>	Liking Score: 嗜好度	連続	官能評価

備考: 「嗜好」, 「記憶」については, 係数として扱うものとする

に及ぼす影響の定量的評価手法としては「共分散構造分析」が有用であり、この分析プロセスは「構造方程式モデリング」と称されている。しかし、この方法は因子間の関係を線形関係と仮定しているので、大まかな相互関係を把握するのに有用ではあるが、食品の「内的属性」と「知覚」の感性関数のように、非線形関係が周知である関数の解析にはニューラルネットワーク (Artificial Neural Network: ANN) や「マルチスプライン補間」などによる応答曲面法が用いられている。その例として、図3に緑茶飲料に含まれる多様な成分の機器分析データと官能評価スコアの主成分分析から得られた知覚因子、たとえば「すっきり感」、「ボディ感」などの非線形関係を解析するためのANN構造を示す。この分析により、例えば消費者が最も重視する知覚の第1因子である「すっきり感」に影響を及ぼす成分の特定とそれらの寄与度が明らかになり、最適配合割合の設計にも有用な情報が得られる。ここに紹介した解析ソフトはいずれも市販されているが、要因間の分析にどのような解析ツールを選択すべきかは食感性モデル適用上のノウハウとなっている。

4. 食感性モデル利用のコンセプト

ヒトが感じるおいしさを起点として、食品の成分配合を探索する最も単純な方法、すなわち、食感性モデルを利用するコンセプトを図4に示す。この図は、例えば家庭内キッチンにおいてコンソメスープを暖めて攪拌しながら、少量の食塩を段階的に加え、調理人が味見により最もおいしく感じた時点で食塩の投入を止める調理法を想定している。このようなプロセスにおいてヒトの知覚に

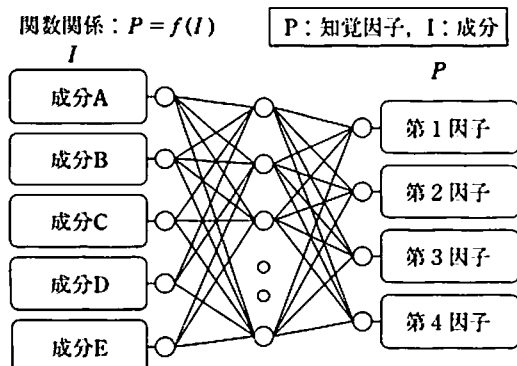


図4 成分と知覚因子間の関係を分析するANNの構造

より検知される「塩味の強度」は、図中に示された「塩分濃度」と「塩味」を座標軸とする平面上に描かれた曲線により示される。すなわち、塩分を加えすぎると塩味が純粋な塩分の呈味強度に近づき、「しょっぱくて食べられない」状態が出現する。最もおいしい塩味の程度を判断するためには、図中に示すような「塩味」と「おいしさ」を座標軸とする平面に描かれた曲線が必要である。もし、これらの両曲線を描くことが可能であれば、ヒトが最もおいしく感じる塩分濃度を決定することができる。すなわち、図中に示した「塩分濃度探索の経路」を矢印方向にたどることにより塩分濃度を決定することができる。この経路はヒトが最もおいしく感じる極大点を基点にして塩分濃度を決定するプロセス、すなわち、一般的には消費者の感性を基点にした品質設計のプロセスを示していることになる。

この図に示した調理プロセスでは、塩分以外の成分濃度や調理法はすでに決定済みであり、最も単純な調理プロセスに相当する。しかし、食品企業における大規模生産では、食品の物理化学的特性に寄与する成分や加工法は多様であり、これらを同時に操作する必要が生じる。すなわち、「塩分濃度」と「塩味」の座標で示される曲線だけではなく、他の成分についても同様な曲線が必要となる。さらに、スイカの甘さを強化するために食塩を添加するなど、調理における「隠し味」のような成分間の相互作用も考慮する必要がある。また、図中の2つの曲線に示されるように、ヒトの感性を評価する要因と食品属性の関係は、その大部分が非線形の関係にあることが想定され、そこでは質的データと量的データを同時に解析するツールが必要となる。図3に示した解析ツールの大部分は、このような複雑系を対象とした解析に有用である。

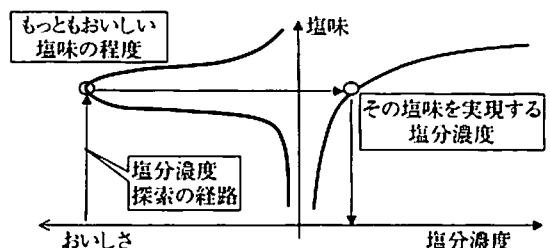


図5 「おいしさ」を起点とした成分設計のコンセプト

5. 新商品開発のグランドデザイン

食感性モデリングによる顧客満足型新食品開発法のグランドデザイン例を図6に示す。この図は、高濃度のカテキンを含み、「苦み」強度の強い機能性緑茶飲料製品を、ヒット商品として開発するプロセスを念頭において作成したものである。このような商品開発に必要な最初のステップは、消費者の欲求を的確に把握することである。たとえば、緑茶製品市場に親られるように、すでに多様な先行商品が市場にあふれてはいるが、それでも「緑茶」のカテゴリに含まれる商品の消費が継続的に拡大傾向にある場合に、後追い商品を市場に投入してヒットさせる方法を探索することは極めて困難である。そこで、まずこれらの商品群の中で、市場定着率の高いヒット商品の魅力構造を分析し、ヒット商品となった要因を探ることから始める。例えば、食感性モデルの知覚の経路を利用して、ヒット商品の香味成分を機器分析により明らかにし、また、官能評価により「おいしさ」の総合評価に影響を及ぼす知覚要因、例えば「すっきり感」、「ボディ感」、「花の香り」などを抽出して、香味評価空間の座標軸を特定する。また、官能評価のフェイスシートにより、それぞれの商品の香味を好む購買者の社会属性、例えば「女子大生」、「オフィスで働く男性」などを特定する。

次に、これらの情報から「消費者の欲求」が「長期的」であるか「短期的」であるかを判断して区分し、これらの欲求に対して商品開発プロセスのどの段階で対応するかを決定する。通常、長期的欲求は機能性素材を含む原料の配合設計で対処し、容器のデザインやマーケティングのためのブランド名などは短期的欲求として製品側で対処することになる。ここで、通常、機能性食品の効能

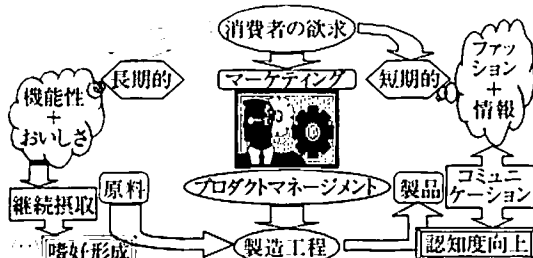


図6 食感性モデルによる新食品開発のためのグランドデザイン

を消費者が自覚するに至る期間は長期的であり、必然的に継続摂取の維持が必要である。このためには機能性に「おいしさ」を付加した品質設計に留意する必要がある、さらには購買意欲を継続させるための嗜好好形成の方法までを開発の視野に入れておくことが肝要である。他方、短期的欲求に対処するためには、食感性モデルの認知の経路を利用して、製品の特質をアピールするための情報とTVコマーシャルなどを利用したコミュニケーション効果を高めるための明確なコンセプトを明らかにし、商品の認知度を高めるマーケティング戦略を確立しておく必要がある。例えば、認知の経路に「構造方程式モデリング(共分散構造分析)」を適用すれば、容器のデザインや情報操作によるコミュニケーション効果が香味の「おいしさ」評価に及ぼす影響を定量的に予測することが可能となる。これらの分析結果は「プロダクトマネジメント」として集約され、製造工程のコントロールに利用される。すなわち、消費者の欲求がマーケティングとプロダクトマネジメントを通じて直接製造工程に反映され、さらには最終製品の認知度を高めるための戦略策定にも貢献することになる。

食感性モデルは食品の品質設計からマーケティングまでの課題を包括的に取り扱うモデルであるが、図7に示すように、知覚の経路に限定して利用すれば、消費者の「おいしさ」評価結果を起点とした新食品の品質設計や製造プロセスの最適化が可能である。例えば、知覚の経路において、食品の「物理化学的特性」から「おいしさ」に至る要因間の感性関数や解析ツールが明らかになれば、コンピューターシミュレーションなどによる逆方

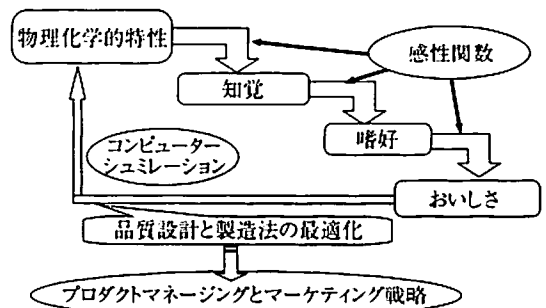


図7 知覚のルートによる品質設計と製造プロセスの最適化

向の推算が可能となり、この過程で得られる定量的情報は「プロダクトマネージメント」や「マーケティング戦略」の検討にも有用となる。

このように、食感性モデリングによりヒット商品を開発するためには、モデルに含まれる全ての要素間の「感性関数」を明らかにする必要があり、企業内のセクショナリズムを排したプロジェクト方式商品開発が必須である。このような商品開発の事例については、本誌ですでに紹介しており、以下にそのタイトルと掲載誌を示すので参照されたい。

- 1) 高齢者のおいしさを探り設計する食感性モデル (2004年2月号)
- 2) おいしさの食感性モデルによる緑茶飲料の開発 (2004年10月号)
- 3) 食感性工学によるおいしさの創出技術 (2005年8月号)
- 4) 食感性工学による食育サポート技術の開発 (2006年12月号)

これらの記事は主に品質設計について解説しているが、本稿では図7に示した知覚の経路を食品製造プロセスの最適化手法として利用した例を次節以降に紹介する。

6. GC/Oによる最適凍結乾燥条件の探索

筆者らは凍結乾燥したインスタントコーヒーの操作温度条件が香り成分に与える影響をGC/MSおよびGC/Oで分析し、原液の香りを保持する最適温度条件を探索する方法を開発した。先ほど述べたように、この手法は食感性モデルの知覚の経路を利用して、消費者の感性評価に基づく製造工程の最適操作条件を探索する方法に該当すると言える。次項以降にその手順を概説する。

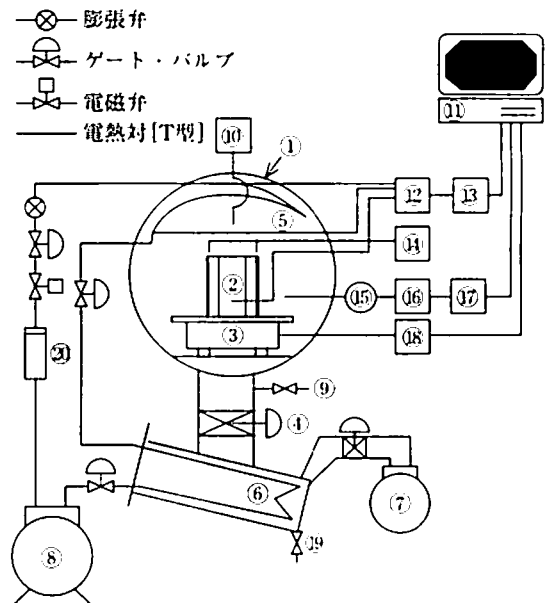
6.1 凍結乾燥温度の設定法

この研究には乾燥操作条件とサンプルの乾燥特性をオンライン計測するために開発した実験用凍結乾燥装置(図8)を用いた。また、図9に示すような液状・顆粒状材料用のサンプルホルダーを用い、濃度40%に凍結濃縮して原液試料とした試料底面の凍結温度を $-40\sim-120^{\circ}\text{C}$ 、また乾燥プロセスにおける試料表面温度を $25\sim 80^{\circ}\text{C}$ の範囲で一定値に制御して、凍結乾燥プロセスにおける試料重量、乾燥速度、試料内温度分布の経時変化および乾燥試料の含水率などを計測した。ちなみに、

商業規模の凍結乾燥操作では凍結温度 -40°C 、乾燥温度 80°C が採用されていると予測されている。このような方法により得られた乾燥試料水溶液のアロマをGC/MSおよびGC/Oで測定し、両者のデータを比較することにより、凍結および乾燥温度条件が乾燥試料のアロマ成分に及ぼす影響を明らかにした。

6.2 GC/Oのチャーム分析法

GC/O分析法にはコーネル大学のAcree教授が開発した“Charm Analysis”と称される手法を用い



- ①真空チャンバ ②試料およびサンプルホルダ ③電子天秤
- ④主弁 ⑤内部コンデンサ ⑥外部コンデンサ ⑦油回転真空ポンプ
- ⑧冷凍機[コンデンシングユニット] ⑨リークバルブ ⑩ピラニー真空計
- ⑪パソコン ⑫電子式冷接点 ⑬A/Dコンバータ ⑭温度コントロール ⑮金属隔離型圧力計 ⑯圧力表示計
- ⑰BCDコンバータ ⑱重力表示計 ⑲ドレーンバルブ ⑳ドライバ

図8 実験用凍結乾燥特性計測システム

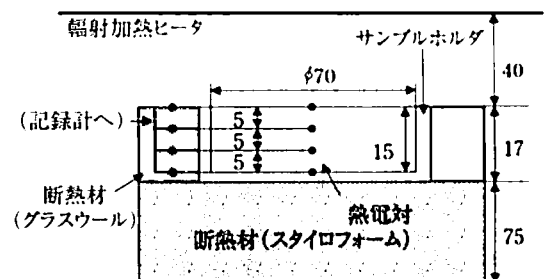


図9 液状・顆粒状材料のサンプルホルダー

た。図10に示すように、この分析手法では、溶液試料をGCに注入し、GCによって分離された香り成分は、空気の流れとともにスニファァの鼻先に供給される。次に、スニファァは香りを感知し始めると同時に、パソコンのマウスを押し始め、感じなくなったところでマウスを放す。そのとき感じた香りの特徴を、予めPCに内蔵されている表現用語の中から選択してラベリングすることにより、検知時間と香りの特徴が記録される。さらに、同試料を3倍ずつ3段階に希釈し、同様の分析を繰り返す。このようにして得られたアロマクロマトグラムとGC分析によって得られる成分ピークを比較して図11に示し

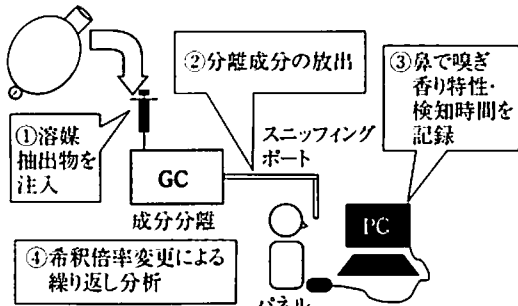


図10 GC/Oによるチャーム分析の手順

た。両者のピークを比較すると、双方で検出可能な成分が異なり、また、前者に示されるヒトが検知可能な成分が、必ずしもGCによって検出されないことも分かる。

他方、GC/MSでは42成分について同定することが可能であったが、これらの同定成分の中で、チャーム分析により検知された成分は6成分であった。それらの特徴は、酢酸の香り (acetic acid)、汗の酸の香り (isovaleric acid)、キャラメルっぽい香り (cyclotene, maltol, vanillin)、シナモンの香り (acetovanillone) であった。

6.3 香り成分強度の温度依存性

図12と13にチャーム分析により得られた香り成分強度 (CV) の凍結および乾燥温度条件依存性を

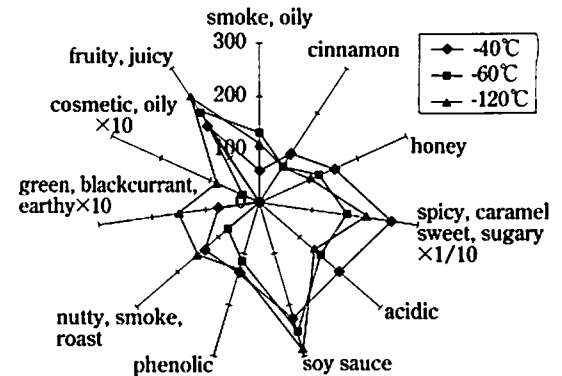


図12 アロマの凍結温度条件依存性 (乾燥温度: 80°C)

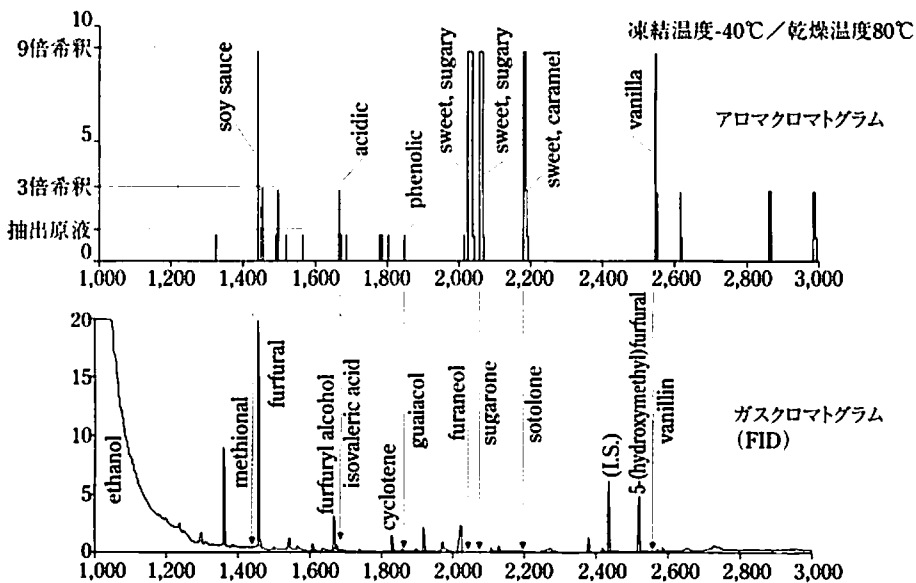


図11 アロマおよびガスクロマトグラムの比較

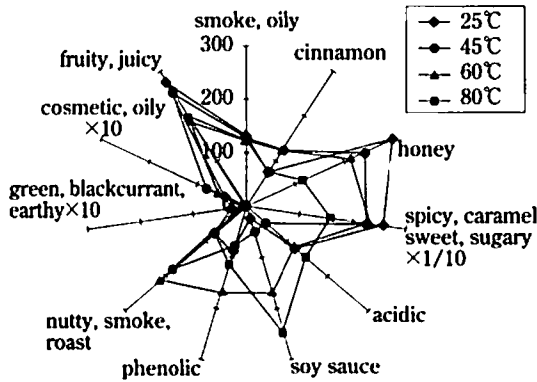


図13 アロマの乾燥温度依存性(凍結温度: -60°C)

それぞれレーダーチャートとして図示した。図12に示すように、凍結温度条件を変えて80°Cの一定温度条件下で乾燥した試料では、fruity-juicy, green-black, current-earthlyに代表される果実様の甘い香りが凍結温度の低下に伴い保存性が向上することがわかった。同様に、醤油香(soy sauce)が凍結温度の低下に伴い生成されることが分かった。また、図13に示すように、-60°Cの一定温度で凍結し、乾燥温度条件を変化させて得られた試料では、醤油香が高温度条件下で乾燥するほど強くなり、高温度条件下で生成されることが分かった。他方、honey, fruity-juicy, spicy-caramel-sweet-sugaryなどの香りの保存性は低温乾燥条件下で保たれることが明らかになった。

6.4 最適温度条件の探索法

上述したデータを利用して、凍結乾燥による香気成分への影響が最も小さくなるような操作温度条件をシミュレーションにより求めた。このシミュレーションにはマルチスプライン補間に基づく応答曲面法を用いた。まず、図14に示すように、チャーム分析により得られた13種類の香り強度(CV)の応答曲面を凍結温度(T_f)と乾燥温度(T_d)の平面上に示した。次に、この応答曲面を利用して得られた香り種(i)の強度(CV_i)と原液の香り強度($CV_{i, original}$)との差の総和が最小となるような凍結・温度条件を求めた。その結果、原液の総体的な香りを保持するための最適操作温度条件として、凍結温度-40°Cと乾燥温度32°Cが推算された。これらのシミュレーション結果から予測されるアロマ強度と実測された原液のそれを比較して図15に示した。この図に示されるように、

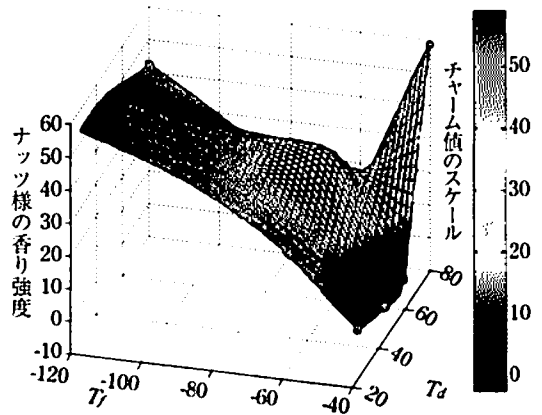


図14 スプライン補間法によって得られた香り強度の応答曲面 (T_f : 凍結温度, T_d : 乾燥温度, °C)

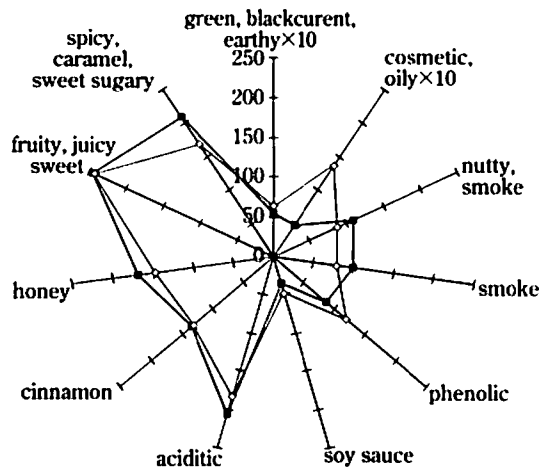


図15 原液のアロマと最適温度条件により予測されるアロマの比較

シミュレーション結果は原液の実測結果と良好に一致し、この研究で予測した結果の妥当性が立証されたものと考えられた。特に、最適温度条件の採用により、凍結-乾燥プロセスにおいて生成する醤油臭の抑制が可能であることが分かった。また、ここで新しく開発した手法は消費者の嗜好に合致した香味を探索する手法としても有用であると考えられる。

7. 将来展望

これまでに述べた「食感性工学」は学術的にも技術的にも全く新しい分野であり、その研究領域も広く認知されているわけではない。食感性は人の感情に由来する度合いが大きく、このために単に食品の「香り」などの物理化学的特性を計測し

て、その特徴を抽出し、「おいしさ」に客観的な評価スケールを与えるだけでは、食感性の計測が完成したことにならない。また、技術面では、人の感情変化を遠隔かつ高速で計測・評価する方法の開発が究極の課題となることも明らかである。しかし、現存する技術レベルではとうてい解決不可能な課題であることも認識されている。

そこで、本稿では「食感性モデリング」により、ヒトの食生活にアメニティーをもたらすトータルエンジニアリングの構築に向けたロードマップを大胆に描いてみることに重点を置いたが、近い将来、官能評価法に代わり、消費者の生理現象の計測結果が実用技術に展開されるような方法論の発展も期待される。具体的なイメージとしては、嗅覚を対象とした脳機能の非侵襲計測法で得られた結果が、コーヒーを素材とした新商品の香味設計や製造工程の制御に利用されるような「夢」が現実に達成されることを祈念している。

「食感性工学」の特色はヒトを対象とした基礎科学の研究成果を導入しながら、センサー等の計測技術からマーケティング手法の開発に至る流れをシステム化して取り扱うための基礎科学としての側面を有し、また、消費者の感情・購買意欲を対象とする応用科学の新分野も包含している点にあると言える。近い将来、先端計測技術と五感コミュニケーション数理モデルを併用し、また、逆に従来の官能評価手法を数理モデル構築のアイデアとして還元しながら、消費者の食感性を高度に定量化してゆくプロセスが進展するものと予測される。これに伴って、高度な客観性に裏付けされたマーケティング手法の開発も多方面で進展するものと考えられる。本稿が「食感性」に関心を持っておられる全ての読者に、新しい視点と何らかのモチベーションを提供することになれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 相良泰行：食嗜好の計測・評価と先端技術，日本食品工業学会誌，41(6) 456 (1994)
- 2) 相良泰行：食嗜好のセンシングから食品感性工学の展開にむけて，食品工業，6(30) 16 (1997)
- 3) 相良泰行：食品感性工学，朝倉書店，1 (朝倉書店，1999)

- 4) 相良泰行：おいしさを探る感性工学，日本味と匂学会誌，8(2) 153 (2001)
- 5) 相良泰行：最新の食嗜好計測技術の動向，ジャパンフードサイエンス，37(3) 23 (1998)
- 6) 相良泰行：おいしさを探る感性工学，日本味と匂学会誌，8(2) 153-159 (2001)
- 7) Deibler, K.D.: Solid Phase Microextraction application in Gas Chromatography-Olfactometry Dilution Analysis. J. Agric. Food Chem., 47 1616-1618 (1999).
- 8) Ikeda, G. et al.: Development of Food Kansei Model and Its Application for Designing Tastes and Flavors of Green Tea Beverage, Food Sci. Technol. Res. 10 (4), 396-404 (2004)
- 9) Ikeda, G. et al.: Flavor Design of Sesame-flavored Dressing Using Gas Chromatography/Olfactometry and Food Kansei Model, Food Sci. Technol. Res. 12 (4), 261-269 (2006)
- 10) Sagara Y., et al.: Characteristic Evaluation for Volatile Components of Soluble Coffee Depending on Freeze-Drying Conditions, Drying Technology, 23 2185-2196 (2005)
- 11) 相良泰行：おいしさの食感性モデルによる緑茶飲料の開発，香料 (228) 81-88 (2005)

さ が ら ・ や す ゆ き

東京大学大学院農学生命科学研究科
農学国際専攻 教授

1972年東京大学大学院農学研究科農業工学専攻博士課程在学中に東京大学農学部助手採用。83年農学博士，85年東京大学講師，88～90年インドネシア共和国ポゴール農科大学大学院客員教授に派遣。97年東京大学助教授。03年同教授，現在に至る。



- 99年アジア・オセアニア乾燥会議メダル賞
- 02年第13回国際乾燥シンポジウムにてクリオファルマ凍結乾燥賞
- 03年第2回北吹乾燥会議最優秀R&D賞
- 趣味：モダンジャズプロデュース，精神分析，映画・民族音楽集録ほか多趣味