

OISHISAの感性工学

相良泰行

東京大学大学院農学生命科学研究科教授

1. 食感性研究のニーズと現状

近年、食品に限らず楽器・自動車などの設計・生産に人の「感性」を考慮する試みが始められ、いろいろな分野の学会などで「感性」をキーワードとする研究が発表されるようになってきた。我々の「感性」は生活のアメニティーと密接不可分の関係にあり、これに関する研究・開発は近い将来、学問的にも産業的にも急速に発展することが予測される。食生活のアメニティーを表す最大の指標は食物に対する「おいしさ」の程度である。また、これを判断する尺度の一つとして「食嗜好」が挙げられる。食品の「おいしさ」やこれを判断する食嗜好の尺度を何らかの理工学的手法で計測し、再現性や客観性の高い数量化された情報を得るシステムが確立されることになれ

ば、食品産業界における新食品の開発やプロダクトマネージメント、さらにはマーケティングの戦略に革新的な改善がもたらされるものと期待される。

このようなシステムを構築するためには、食品が保有している物質的屬性と「食」にまつわる人の心理的要因を抽出して、これら相互の関連性を明らかにし、最終的には「人の食に対する感性」を定量化しなければならぬと考えられる。従来、このための技術を開発することは極めて困難とみなされ、一般的には食品に対する人の心理的反応を各種の「官能評価」手法を適用して把握する努力がなされてきた。しかし、アンケートによる主観的データの解析に依存する官能評価には再現性や信頼性に疑問が残る場合が多く、評価結果の利用に当たっては、再度人の主観的判断を要する

など、この方法にもさらなる研究が必要とされている現状にある。

2. 関連科学技術の進展

近年に至り生体や食品を対象とした電磁波による非破壊成分分析や品質の定量的評価技術が実用化されてきた。「おいしさ」や「食嗜好」の評価・判断に特に要望される理想的条件は、「非破壊・遠隔・高速度の3条件」である。今のところ、このような条件を満足する情報伝達媒体としては電磁波が最も適しており、いわゆる光センシング技術として多方面でその研究・開発が進められて実用化が進展してきている。例えば、食品や農産物を対象とした光センシングの分野では、近赤外分光法を測定原理とする「米の食味計」やCCDカラーカメラと画像処理技術を組み合わせた「カラーグレーダー」などが実用化され、世界的な工業技術レベルからみても、画期的な技術として高く評価されている。

バイオエレクトロニクス分野においては、生物が保有している「スーパーセンサー」などのメカニズムの解明が精力的に進められている。また、これらのメカニズム

を模倣する形で、バイオセンサー、特に各種の脂質膜を利用した味覚や匂いのセンサーが実用化されつつある。大脳生理学の分野では人の五感によって得られた情報の伝達と脳の働きを司る生理活性物質の役割を解明する研究が展開され、ここでは脳磁波の多点計測により味覚・臭覚のメカニズムを解明するための研究が注目される。

さらに、知識工学の分野では人の情報処理法を横したファジイ理論、学習機能を持つニューラルネットワークモデルおよび遺伝的アルゴリズムが考案され、その利用は「感性評価モデル」として生活のアメニティー化をもたらし電化製品にまで浸透している。

3. 食感性工学の提唱

このような現状を踏まえると、個々の計測技術と官能検査やマーケティング分野で発達してきた数量化手法を統合してシステム化することにより、従来不可能と考えられてきた食品に対する消費者の嗜好を定量的に評価し、この結果に基づく商品開発や販売戦略の検討にも役立つ技術的・学問的領域の構築が可能と考えられる。

筆者はこの領域をカバールする新しい学術

研究の分野を「食感性工学」として提唱している。しかし、西欧には日本語の「感性」と正確に等しい概念と言葉が見あたらないため、筆者は感性の概念を「①外界の刺激に応じて感覚・知覚を生ずる感覚器官の感受能力、②感覚によってよび起こされる感情の動態、③理性・意志によって制御されるべき感覚的欲望」と大まかに定義し、また、「感性」に対応する英語として日本語の「KANSEI」を採用することを提案している。

また、食感性工学のイメージは「食情報に関わる感性のモデリングとこれを利用したプロダクトマネージメント」であり、研究領域には食情報のセンシング、生体生理反応機序の解明、センシング情報の感性情報への変換、「おいしさ」にまつわる評価・判断および嗜好形成のモデリング、さらに、応用分野ではこれらのモデルを利用した新製品の開発・設計、加工プロセスの最適化および販売戦略などが含まれる。

4. 感性の定義とあいまいさの利点

「食感性工学」なる新しい研究領域を提唱するにあたり、筆者が苦悩した問題点の一

つは「感性」をいかに定義するかという課題である。結論的には現時点でこれを正確に定義する事は困難であり、「感性」に関する研究の成果を取り入れながら曖昧さの部分を解消してゆく方法を採らざるを得ないと考えられる。このことは「感性」の研究が現時点では未熟の状態にあり、新しい研究分野として自由度の高い多様で広大な領域が残されていることを意味している。

今後は「脳」研究の隆盛に観られるように、いわゆる「知性」をベースにして培われた研究分野の境界領域から感性研究への萌芽が発生・伸長し、これらの萌芽が新領域を創造しながらお互いに刺激し、場合によっては結合しあいながら網状に感性研究の領域を拡大してゆくものと予測される。

最近では、欧米で定義された4つの基本味に日本が世界に向けて発信した「うまみ (umami)」が5番目の基本味として認知されたように、「kansei」も世界的に認知され始め、ドイツ語圏では「カンザイ」と発音されている。

5. 食品産業の緊急な課題

前世紀の産業、特に工場生産を主体とす

る各種の加工工業分野では、大量で効率的な生産・販売方式により利潤を追求してきた。このような生産方式を達成するため、科学技術にも基礎から応用に至る多様な開発研究が求められ、世界的なレベルの研究開発競争に晒されながらこのような「大量効率生産方式」の達成に多大の貢献を成し遂げてきたといえる。しかしながら、一方ではこれらの生産方式の追求に伴って、原材料の確保に関する南北問題、エネルギーおよび環境などの諸問題が蓄積されてきた。これらの問題は前世紀末に至り、人の健康・生命ひいては生存を脅かす存在として一般消費者に認知され、さらに近年の構造的不況の長期化と相まって深刻な社会不安を招く事態となっている。このため、これらの問題は、政策面でも、科学技術の面でも、緊急に解決すべき課題としてクローズアップされてきた。

農業・食品産業の分野でも、連日、各種メディアに「狂牛病」、「O157」、「企業倫理」および「高齢化」などのキーワードが氾濫する状況になり、「食の安全と安心」とどける科学技術と産業」の創生が必要となってきた。特に、「食の高齢化社会対応」

の課題は、団塊の世代が65歳を迎える以前までに解決しなければならぬ緊急性を有していると言えらる。すなわち、現在の福利・厚生・医療に関する諸制度は、高齢化社会の進行に伴って破綻するとの社会不安が広がっている。

高齢者の健康・介護・医療の諸問題に対処する最良の方策は、「食育」による若年層と一般成人の健全な食生活への回帰による疾病の予防と、「高齢者用健康・介護食サプリメント社会システム」の構築にあると考えられる。しかし、消費者、特に若年層と高齢者が感じる「おいしさ」と「食嗜好」さらには「安心」を与える情報を取得し、これを評価して生産プロセスに反映させるための科学技術の分野は未発達の状態にある。

他方、食品産業では新製品の市場定着率の向上が死活問題となっている。現在、EU市場に1年間に投入された新製品の定着率は約15%以下となっており、我が国ではさらに低い定着率となっている事態が予測されている。実際に、これらの現象は飲料関係の市場における商品ライフサイクルの短縮化に顕著に観られる。このために、従来の官能評価法を利用した市場調査に基づく新商品の開発競争が熾烈となっており、これに要する多大の経費は不況下における農林水産業・中小食品企業を圧迫し、いわゆる裾野産業に支えられた我が国のフードサプライシステムの破綻を招きかねない現状にある。

6. 消費者起点産業へのパラダイムシフト

これまでに述べた「食」を取り巻く緊急な課題を解決するためには、従来の大量効率生産・販売方式に変わる新しい方式への変換、すなわち川上から川下への生産・サプライシステムから消費者を起点とする逆方向指向型システムへの変換が必要と考えられる。特に、前世紀末から多発した食品危害により醸成されてきた消費者の食に対する「安全と安心」への不信感を払拭して、信頼性を回復するためには、ここに述べた新しいアイデアに基づく食品産業構造の改革とこれを支援する科学技術と社会システムの構築が必要と考えられる。これらの認識は欧米諸国でも定着しつつあり、いわゆる「消費者科学」の充実と発展に多大の研究開発費が投入され、また、EUでは機能性・健康・高齢者に関する多国籍ポスター

レスプロジェクトが進展し始めている。

ここに提唱した食感性工学の目的は

「消費者起点工学および生産 (Consumer-oriented Engineering and Production)」を食品分野において具体的に実現する基礎科学とこれを生産に反映させる技術を含むした、横断的新科学技術分野と新食品産業・市場・社会システムの創生にある。これらの研究開発により得られる成果は、単に食品産業のみならず他産業における消費者起点工学の発展と生産方式・販売戦略に具体的方法論を提供する事になる。これにより、現在、多くの産業が構造的に抱える諸問題の解決にもブレークスルーをもたらすものと期待されている。

7. 食感性モデルの提唱

「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。このモデルは消費者個人が感じるおいしさの生起過程を定量的に評価することにより、新製品の設計、最適製造法の探索及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。

本稿では、当モデルを緑茶飲料製品の香味及びペットボトルの設計など適用して新商品設計のための方法論を検討しながら、ヒット商品の開発に貢献した事例を紹介する。

8. 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1000g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関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、開発担当者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なイメージを共有しない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。

9. 食感性のモデリング

(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で、さらに緑茶製品のペットボトルが自身の香味評価に多大な影響を及ぼすことを指摘した。これらの事実は知覚器官単一で「おいしさ」が評価されることは滅多に無い事を示唆している。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検証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へた。

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。本稿では、このモデルを緑茶飲料製品の香味およびペットボトルの設計に適用し、ヒット商品の開発に貢献した事例を紹介する。

(2) 食感性要因の相互関連性

図1に食に関する消費者の五感コミュニ

ケーションを表すモデルとして、「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、食感性に関わる因子を想定した。すなわち図に示すように、食品は「物理化学的屬性」と「情報」、他方、ヒトは「知覚」と「嗜好」、「認知」と「記憶」、そして「感情(おいしさ)」を有するものとした。「物理化学的屬性」は、味覚や嗅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、おいしさに影響する食品の成分や構造などを指し、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データは「物理化学的屬性」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

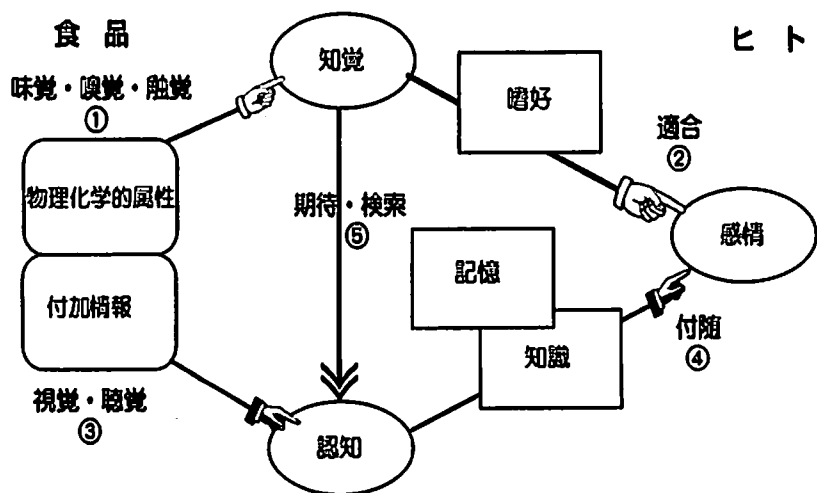


図1 「おいしさ」の食感性モデル

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へられる。

「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じて、ヒトの脳内に生じる知識を指し、「記憶」はこの知識と関連する経験・体験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、おいしさにほほ等しいが、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、これら因子を介しておいしさが生じる過程を説明する。

(A) 物理化学的屬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屬性が味覚・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ておいしさを感じる時、その過程としては、ま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。

(B) 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、食品の情報が見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が想起され、それら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、それらに付随する感情が生じるといふとは大いに起こり得ると考えられる。

(C) 知覚と認知の対応経路

前述した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、甘味と酸味と僅かな苦味が知覚されると、推測により原料がグレー

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おり、甘味と酸味と僅かな苦味が期待されることも考えられる。

(3) 食感性関数

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。また、これらの変数間相互関連性を示す関数を「感性関数」と定義した。これらの関数として、PLS(部分最小二乗法)、構造方程式モデリング、ニューラルネットワーク(Artificial Neural Network: ANN)およびマルチスプラインによる応答曲面法などを用いている。

10. 緑茶飲料設計への応用

「食感性モデル」の有用性を実証するために、食品産業の変革や市場創生と拡大のために要望されている消費者起点工学および生産のツールとして利用した例として、消費者の感性を考慮した緑茶飲料の設計手法

について述べる。

(1) 機器分析および官能評価

複数の成分配合割合を調製した緑茶飲料試作品8サンプルについて、一般パネル240名を対象に7点尺度による官能評価を実施し、各サンプルの香味およびおいしさに関する評価データを入手した。パネル240名の内訳は、女子高・女子大生、20〜30代OL、および20〜50代社会人男性がそれぞれ80名であった。またGCおよびHPLCを用いた機器分析を行い、香気成分および呈味成分量を測定した。

(2) 知覚因子の導出

緑茶飲料について知覚される因子を明らかにするため、17項目の官能評価データに因子分析を適用し、香味の特徴を評価する4つの独立な知覚因子、すなわち「緑茶感(ごく)」、「すつきり感」、「まろやかさ」、「香り」を抽出した。これらの知覚因子の寄与率はそれぞれ19.7%、23.8%、14.1%および10.4%であった。寄与率の合計は68%であり、このことは抽出された4つの知覚因子により、緑茶香味特性の約70%

が評価されることを示している。また、これらの結果は、パネルが緑茶の香味に対して評価した特性を、上述した4つの用語でおおよそ評価し得る事を示している。

(3) 香味成分と知覚因子と嗜好度の関連性

機器計測により定量化された香味成分の濃度と知覚因子との関係については、従来の研究により非線形の関係が想定されるため、図2に示すニューラルネットワークモデルを用いて両者の関係を近似した。しかしながら、モデルの構造設定や操作法に不確定要素が含まれるため、このモデルの近似精度を常に評価する必要がある。本節の課題についてANNモデルを適用した結果、知覚4因子すべてについて、決定係数0.99以上、標準誤差は0.03以下の精度で近似が可能であり、特に焙香成分の増加が第1因子の増加に寄与することが明らかとなった。

次に4つの知覚因子と嗜好度との関係が重回帰分析により近似できるものと考えた。また、偏回帰係数の推定値から、嗜好度に対して第1因子は、他の3つの因子に比べて、約2倍の寄与度を有することが明

関数関係: $P = f(I)$

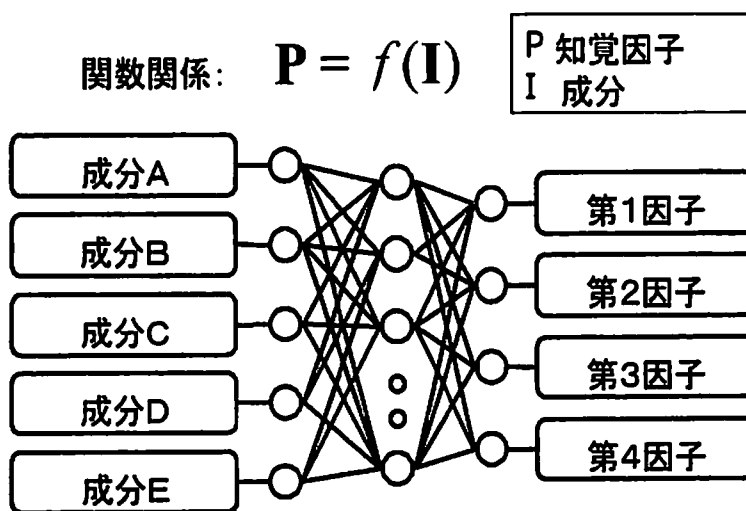


図2 ANNモデルの構図

らかとなった。

これまでの結果より、香味成分濃度と知覚因子の間には、非線形関係が存在することが確認され、両者の相互関連性を定量的に検討する事が可能となった。しかし、販売戦略上ターゲットとすべき消費者群の嗜好特性に適合した緑茶飲料を製造するための成分配合を決定するためには、これまでに得られた嗜好度と知覚因子と成分濃度の

関係を示す感性関数を用いて最適配合を探索する必要がある。この探索の手法として、香味成分濃度を操作して、最適な嗜好度を予測するシミュレーションを用いた。

(4) 最適配合の探索

官能評価用のサンプルを調製した濃度範囲において、成分量を変化させたときの知覚因子および嗜好度を、得られた感性関数を用いて予測することにより、最も高い嗜好度を与える成分の組み合わせを探索した。その結果、焙香成分を多く配合することにより、第1因子が増加し、嗜好度の高い茶飲料が調製されることが予測された。また、消費者の社会的な属性による嗜好の相違を考慮し、パネルの3つの社会属性ごとに一連の解析法を適用することにより、それぞれの社会属性を有する消費者に最適な茶飲料の香味成分配合法を検討した。その結果、図3に示すとおり女子高・女子大生には、花香と焙香成分を多く配合し、甘みを感じさせる設計が望ましく、またOLおよび社会人男性には旨味成分を多く配合し、味の濃さを感じさせる設計が望ましいことが分かった。

(5) パッケージデザインの効果

食感性モデルの付加情報・認知・嗜好度（感情（嗜好度））の経路を利用して、緑茶製品のペットボトルのデザインが香味の官能評価スコアに及ぼす影響を評価した事例について紹介する。緑茶の魅力構造を調査するためにあるコンビニエンスストアにおける緑茶製品の購買履歴データより、長期にわたって良く売れている2つの既製品「生茶」および「おいしいお茶」をサンプルに選び、首都圏数箇所にてこれらをサンプルとする消費者パネルによる官能調査を行った。

消費パネルは20～40代の男女180～250名であり、調査の実施回数は5回である。評価方法はペットボトルを消費者に提示するか否かによるオープンおよびブラインド評価、すなわちパッケージ情報の有無による香味の評価であり、評価用語30項目による7段階評価法を採用した。これらの評価スコアに対する主成分分析から、香味に関する4つの知覚因子、すなわち「緑茶感（こく）」、「すっきり感」、「まるやかさ」、「香り」が抽出された。図4はこれらの知覚空間におけるペットボトルの香味評価に対する情報効果を示したものである。

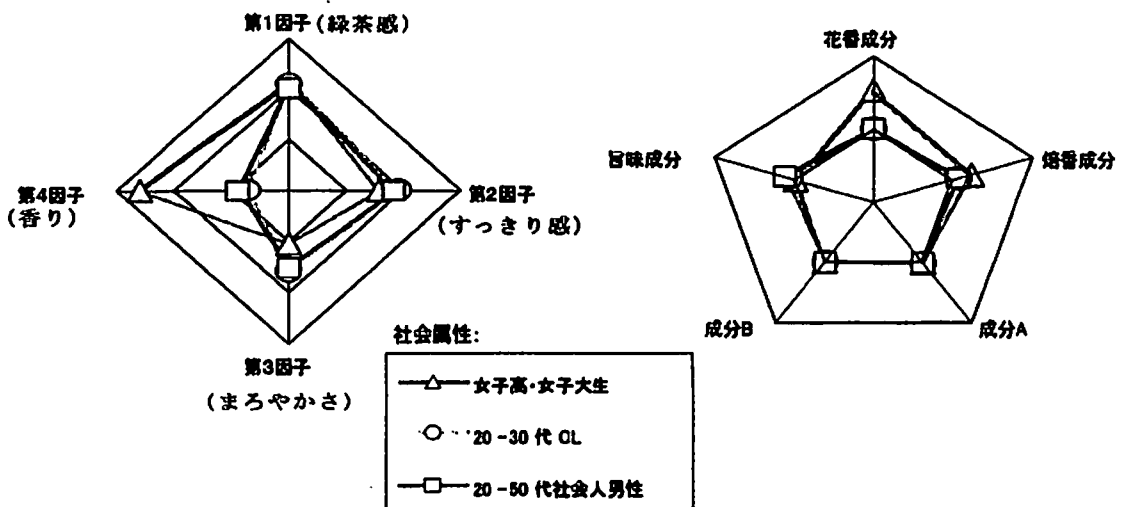


図3 消費者の社会属性による嗜好度の相違

例えばブラインドテストによる「生茶」の香味の評価スコアは、ペットボトルを提

示するオープン評価により、いずれの知覚因子スコアにおいても格段の増大を示している。このことは市場に定着している商品に付加されている情報がペットボトルを介して香味の評価に劇的な効果をもたらすことを意味している。すなわち、新商品の設計においては、香味だけでなく同時にパッケージやTVコマーションシャルなどの設計・制作指針を検討することが重要である。

11. 将来展望

本稿では筆者が新しく提唱している「食感性モデル」の概要とその適用例について紹介したが、成分の計測手法、操作する付加情報、官能評価項目など、取得すべき変数データの具体的内容ひとつとっても、感性モデリングには未だ多くの課題が残されている。また量的変数と質的変数の両方が存在し、それらの関数関係も様々であることから、複数のケモメトリクス手法やデータマイニング手法を応用することが必要と考えられる。しかしながら、本モデルはこれをコンポーネントとして組み込んだ五感センサーの小型・モバイル化、またはモデルを適用した食嗜好評価尺度の標準化な

どの技術向上により、将来期待されているユビキタス時代の到来にも対応した食情報機器の開発や社会システム構築ツールとして利用されるものと考えられる。

本稿で紹介した応用例に示されるように、パッケージデザインあるいは成分の由来などの情報を操作することにより、食品に対する情報付加がヒトの感性に与える影響を定量的に評価することも可能である。また、将来的には認知された内容を自由記述・会話記録データなどにテキストマイニングなどの手法を適用して抽出することにより、認知ないし記憶が食感性に与える影響を評価することも可能と考えられる。これらの技術開発に併行し、非言語的に脳の活動を反映するEEG（脳波記録）あるいは脳における情報処理過程に関連するEP（誘発電位）の計測・分析を通じ、感性に関わる神経生理学的な活動を明らかにするなどの基礎的研究も進展している。このような基礎科学の分野でも、食感性に関する脳内情報処理プロセスのモデリングや食嗜好形成メカニズムのモデリングなど、嗜好と関連する生理指標を導出することにより、さらに客観的な生理データに基づく

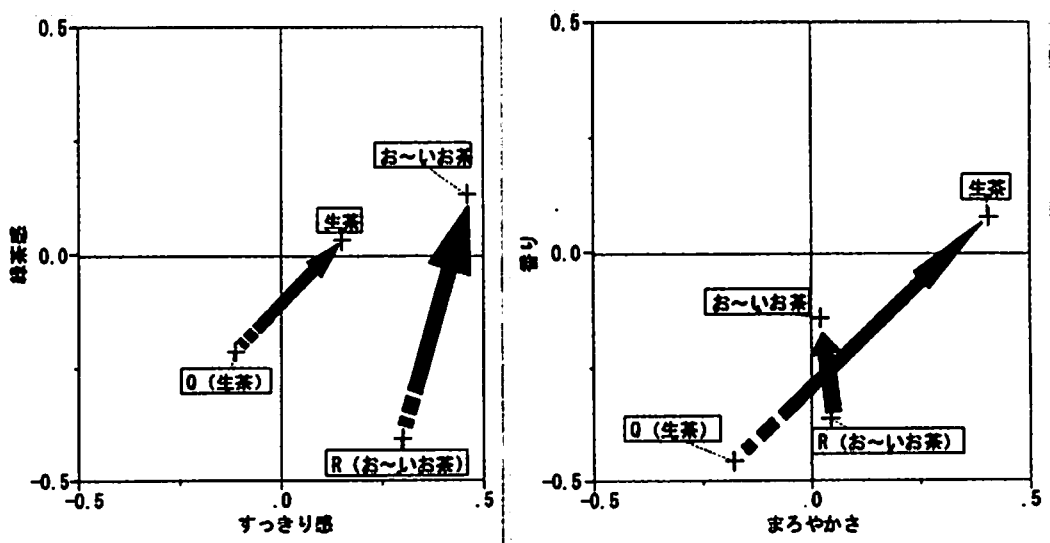


図4 パッケージデザインによる香味への情報効果

感性モデリングも可能になると考えられる。

(さがら やすゆき)