

食品感性工学の提案

相 良 泰 行*

はじめに

近年、楽器・自動車・建物などの設計・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一つの尺度は食物に対する「おいしさ」や「嗜好」の程度であり、これと逆方向の尺度は「まずい」や「嫌悪」で表現されよう。食品に対する「嗜好」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商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¹⁾。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属性と「食」に関する人の心理学的要因を抽出して、これら相互の関連性を明らかにし、最終的には「食に対する感性」を定量化しなければならないと考えられる。

他方、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。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」や青果物の選別に用いられるCCD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」などが実用化されている²⁾。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進められている³⁾。

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⁴⁾や匂い⁵⁾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⁶⁾。さらに、知識工学の分野では人の情報処理法を模したファジイ理論、学習機能を持つニューラルネットワークモデル⁷⁾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す電化製品にまで浸透している。

このような現状を踏まえると、個々の工学的な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する新しい学術研究の分野を「食品感性工学」として提唱している^{8)~10)}。また、食品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①食情報のセンシング、②生体生理反応機序の解明、③センシング情報の感性情報への変換、④食にまつわる評価・判断および⑤嗜好形成のモデリング、さらに、応用分野ではこれらに基づく⑥新製品の開発・設計および販売戦略などが含まれる。

*Yasuyuki Asagara : 東京大学大学院農学生命科学研究科農学国際専攻国際情報農学専攻教授, 〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1, TEL 03 (5841) 7536, FAX 03 (5841) 5335, E-mail : asagara@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

1. 食品感性工学の提唱

1.1 前提条件

現在考えられる食嗜好の計測・評価システムとこれを含む食品感性工学の全体像を構築して図1に提唱し

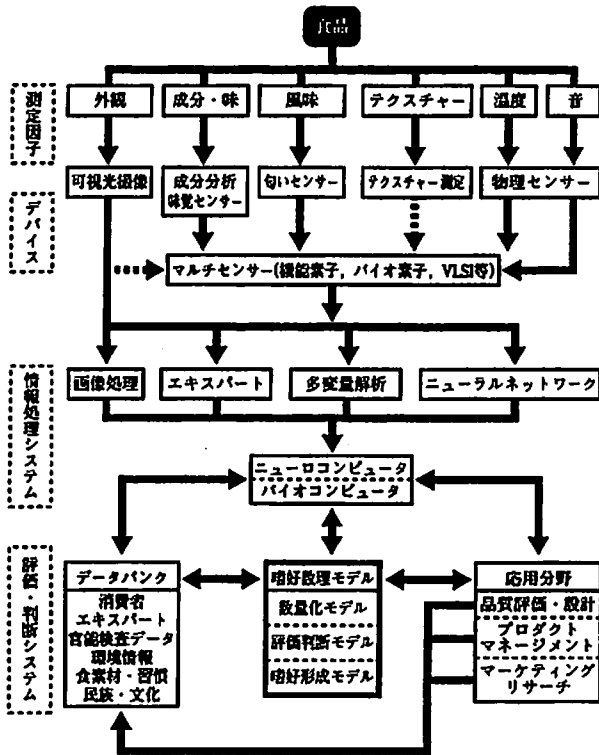


図1 食嗜好の計測システムと食品感性工学の領域

た。この図に示した領域は人の食嗜好と摂食行動に関係する諸要因の計測・評価技術と各種の数値モデルで構成されている。したがって、嗜好の物理化学的計測に必要な、人を対象とした生体情報計測の領域は含まれていないことを認識しておく必要がある。

1.2 デバイスと解析システム

図1に示した測定因子とデバイスのセクションは食品の属性をセンシングする部分である。解析システムのなかで画像処理からニューラルネットワークに至る個々の解析手法は計測によって得られた信号に基づき「おいしさ」を評価する部分であり、現在でも食品の外観・成分・味などの評価に用いられている手法である。現在の処、食品の属性は各種のセンサーとこれに直結した解析手法を用いて個々に測定・評価されている。例えば後にも示すように、米の食味は近赤外スペクトルアナライザと多変量解析もしくはニューラルネットワークを組み合わせで評価され、「食味計」単体として市販されている。しかし、将来は個々のセンサーの

機能を高度に集積し、ハード的に一体化した「マルチセンサー」が開発され、非破壊的な遠隔測定が可能となるものと期待されている。

1.3 情報処理システム

ニューロおよびバイオコンピュータは食品と人を対象とした計測から得られる物理化学的な「おいしさの強度」に加え、人の嗜好と食行動、さらにマーケティングリサーチなどの応用分野を結合し、これらの情報を効率的・総合的に処理する、いわゆる情報処理を担当するセクションである。このセクションの情報処理機器としては現存する超大型コンピュータを当面利用できるが、嗜好は元来人の脳が関与する情報処理の典型的な例であり、これには生物が行っている情報処理を模倣した新しいコンピュータの導入が望ましい。現在、電子および情報工学の分野での開発競争が熾烈となっているこれら二つのコンピュータの実現が待たれる。

1.4 評価判断システム

最後に残された「評価判断システム」は感情を数量化して目的に応じた数値モデルを構築する、主にソフトウェアを担当する部分である。嗜好の数値モデルをグループ分けすると、①食品と人の嗜好に関連する計測データを数量化するためのモデル、②数量化されたデータに基づき食品の品質とこれに対する人の嗜好のマッチング度合いを評価し、さらに食行動や新製品に対する消費傾向等を予測・判断するためのモデル、③個人またはある特定の地域に居住する消費者の大多数に共通する嗜好の特性を抽出し、その特性がいかんして形成されてきたかを探り、さらに将来どのように変化してゆくかを予測するための嗜好形成モデル、などになるものと考えられる。

これらのモデル群の構築には前に述べたようにバイオコンピュータなどによるダイナミックな情報処理手法と嗜好に関する信頼性の高い膨大なデータバンクが必要となろう。データバンクのなかには、消費者の嗜好動向、食品企業でテイスターと呼ばれているエキスパートの官能検査手法に関する情報、特定の食品に関する成分・栄養・官能検査蓄積情報、地域の自然環境情報、食素材・食習慣に関する情報、民族・文化に関する情報等が含まれ、これらの情報はコンピュータによる嗜好数値モデルの構築に利用される。例えば、テイスターの官能検査手法は各種センサーまたはマルチセンサーで計測された食品の嗜好特性に関する情報と共に、解析システムの中のエキスパートシステムや

ニューラルネットワーク、さらに嗜好数理モデルの構築に利用される。すなわち、食品製造プラントの操作や品質検査で神様と称されているエキスパートの主観的検査・評価手法が、誰でも操作・利用できる客観的なシステムに置き換えられ、さらにその評価結果はファジ理論等を導入する事によりプラントの制御等に利用されることになろう。

嗜好数理モデルの応用分野には、①人の嗜好を加味した食品の品質評価とこれに基づく品質設計、②品質設計に基づく商品プロダクトマネージメント、③嗜好の評価と予測に基づくマーケティングリサーチ、などが挙げられる。これらのモデルは食品企業の製造・販売戦略に定量的情報を提供する事になる。

2. 視覚センサー～画像処理技術～

食品の形や色を対象とした計測技術も「眼」の機能を持つCCDカメラに「脳」の情報処理機能に近づきつつある画像処理技術を組み合わせることにより、ヒトの視覚に相当する高性能の計測システムが実用化され、食品製造・流通の現場に導入されている。ここでは人の視覚では不可能な材料内部の微細な三次元構造を自由に観察できる機能を持ち、ある面ですでにヒトの能力を凌駕していると考えられる計測システムとして「マイクロスライサ画像処理システム」(図2)を紹介する。

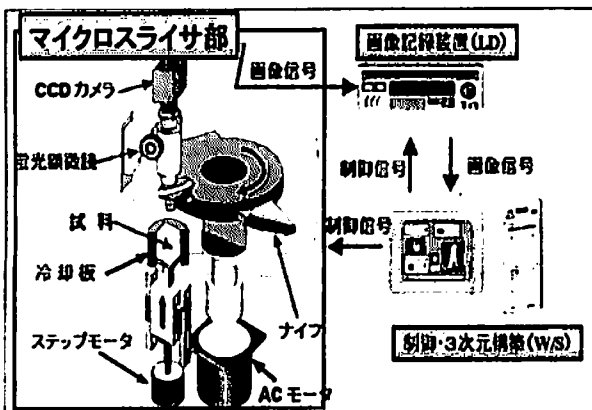


図2 マイクロスライサ画像処理システム

このシステムの特徴は、マイクロスライサにより試料を連続的に切削して得られる露出断面画像を順次撮像し、これらの二次元画像をコンピュータ上で三次元立体像に再構築し、外観および任意断面の形状や色彩分布を計測可能とした点にある。また、試料を構成する特定の物質、例えば小動物の骨や肝臓の血管網など

の部分のみを人工的に着色・抽出した三次元像をディスプレイ上で回転させながら、任意の方向から観察する事も可能である。図2に示すように、本システムのマイクロスライサ部では試料をステップモータで駆動する一軸ステージで間欠的に押し上げ、その上端をマイクロトーム用ナイフで連続的に切削する。試料の露出断面像はCCDカメラとこれに接続した各種の顕微鏡を組み合わせ撮像する。切削速度は毎分90回で最小切削厚さは0.1ミクロンに設定可能である。撮像した画像はレーザービデオディスクレコーダに一時記録され、ワークステーションで三次元像に再構築される。

筆者らはこのシステムを用いて、凍結食品内に形成される立体氷結晶の形態、サイズおよび分布を計測する事に成功した。その一例として図3に牛肉を -120°C

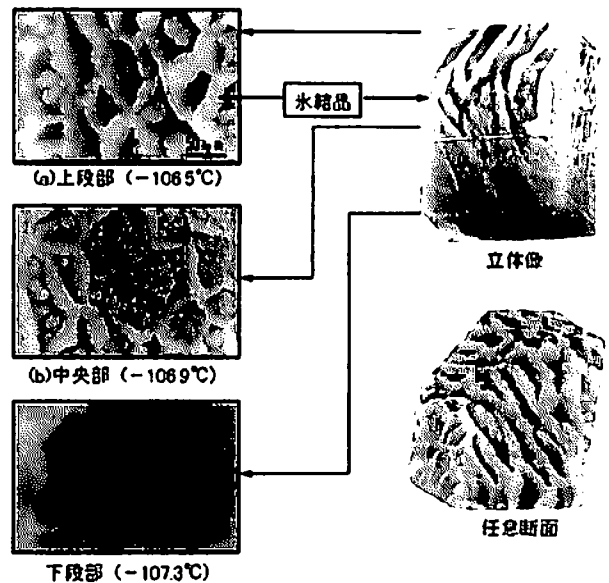


図3 凍結牛肉試料の水結晶断面および立体像
(凍結温度： -120°C)

で凍結した場合に形成される氷結晶構造の計測例を示す。試料厚さ約1mmの範囲で、氷結晶サイズは凍結面である立体像の下端部から垂直方向に向かって急激に増大し、また、細胞外に分布することが分かった。この方法は冷凍食品の解凍後における品質向上、さらには生体組織の活性維持などのための最適凍結法の研究開発ツールとして有効利用されるものと期待されている。

3. 味覚センサー～近赤外分光法とバイオセンサー～

近赤外分光法を応用した味の感性センシングの例と

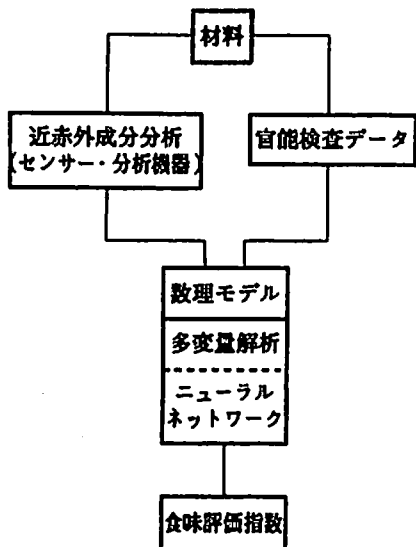


図4 米の食味計測・評価システム

して、「米の食味計」を探りあげ、その技術レベルを紹介する。図4に米の食味計の計測・評価システムの概念図を示す。このシステムでは近赤外分光分析により食味に影響を及ぼす呈味成分の含有量を測定し、次に、得られた含有量のデータから官能検査結果を予測し、「食味評価指数」を表示する機能を有している。呈味成分量から評価指数を推定する方法は製造会社により異なり、多様な方法が採られているが、ここでは非線形多変量解析を高速度で実現したニューラルネットワークによる推算方式について解説する。この方式では、図5に示すように、入力層のユニット数を①白

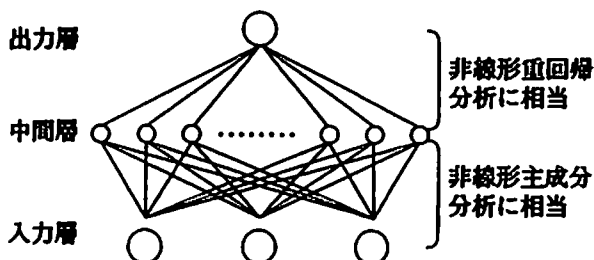


図5 ニューラルネットワークと非線形多変量解析

度、②水分、③アミロース、④脂肪酸度、⑤タンパク質および⑥検出器温度、⑦米の温度の7ユニット、中間層20ユニット、出力を食味の総合評価指数の1ユニットで構成されるニューラルネットワークが考えられ、教師信号には官能検査データが入力された。このような手法を導入したことにより官能検査から得られる食味スコアを、米の食味成分から良好に推定する事が可能になった。このシステムの革新的な点は、粒状または粉状の材料のままで成分分析を行い、炊飯した後の

食味を予測していることにある。このような「感性計測システム」の開発が成功した要因は、先ず、主食である嗜好性の低い米を測定対象に選んだことであり、次に標準化された官能検査の手法とその信頼性の高い結果に対する評価法が確立されていたことである。

次に、バイオセンサーの測定原理を応用した味覚センサーについて紹介する。このセンサーの測定原理を説明するために、人工脂質膜を味溶液中に浸した場合に発現する膜近傍の電位プロフィールを図6に示す。

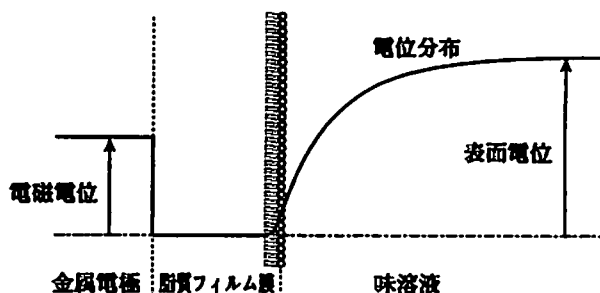


図6 水溶液中における脂質膜近傍の電位プロフィール

このプロフィールは脂質膜と味溶液の種類により変化する。そこで、両者の「組み合わせ」を識別する電気信号として、脂質膜表面に接着した白金などの金属電極で電位を検出する。実用装置では5つの基本味の代表的呈味成分に敏感に反応する8つの脂質を選び、これをポリ塩化ビニル (PVC) に混入して人工脂質膜を形成し、これらの膜の味溶液に対する応答感度が計測された。図7は味覚センサーにより各種のビールを測定し、その出力結果に主成分分析を施してテイストマップを作成した例を示す¹⁾。図中のPC1軸はビールの

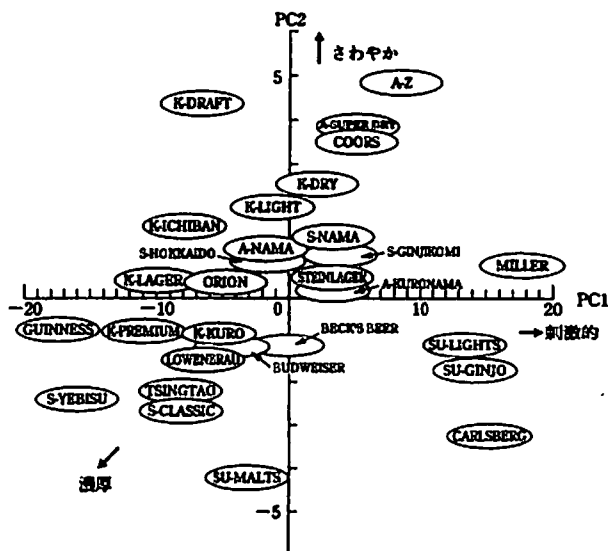


図7 ビールのテイストマップ

味を表現する代表的な語彙である（まろやか） - （刺激的）のスケールを表し、また、（さわやか）および（濃厚）を表すスケールの方向も示されている。商品名は戦前からシェアのトップを占めていたK社のラガーが（K-LAGER）、これの強力なライバル商品として、最近シェア競争を有利に展開しているA社の製品が（A-SUPER DRY）のように表示してある。この図に示すように、味覚センサーは同一カテゴリ内の商品の味を識別することが可能であり、既に販売されている商品の特徴を明らかにしたうえで新商品開発の方向を探るなど、プロダクトマネージメントのツールとして有効に利用されている。

4. 嗅覚センサー

食品の匂いは多成分で構成され、人はその匂いを総合的かつ迅速にセンシングして、匂いの発生源である食品の種類や状態を識別している。近年、このようなセンシング方式を模倣したセンサーが開発途上であり、その一部が実用化されている。それらのなかには、図8に示すように、いくつかの金属半導体や高分子膜

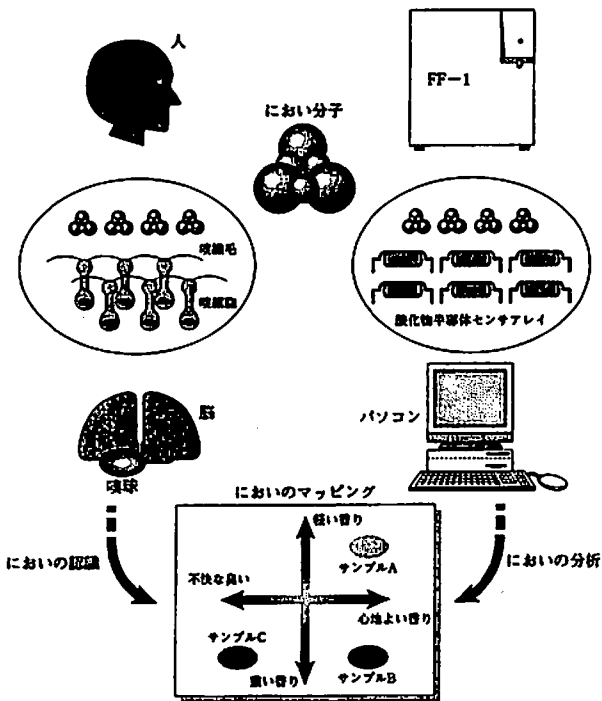


図8 酸化物半導体センサーによる匂い識別システム

を用いる「電子鼻 (Electronic Nose)」, 生体膜のモデルである化学センサーによる方法などが挙げられる。現在のところ、このようなセンサーの中で、最も実用性の高いものとして「水晶振動子式匂いセンサー」

と「膜電気抵抗式匂いセンサー」が挙げられる。以下にこれらの測定原理と計測結果を紹介する。

水晶振動子式匂いセンサーの構造と測定原理を図9

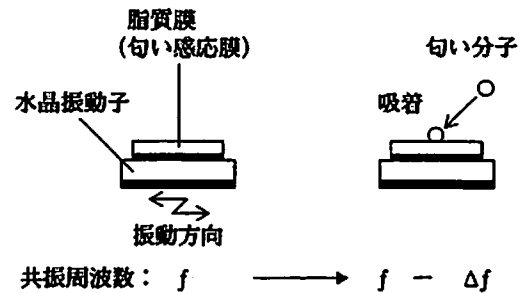


図9 水晶振動子式匂いセンサーの構造と原理

に示す¹³⁾。このセンサーは厚み滑り振動モードでカットされた水晶振動子の表面に、合成脂質フィルムを多層化した人工脂質膜を塗布した構造をしている。水晶振動子は超高精度のマイクロバランスであり、表面に塗布した脂質膜に吸着する匂い成分の重量変化を周波数の変化として検出する。すなわち、空気中に存在する匂い分子は膜との親和性によって、ある一定の割合で膜に吸着し、その質量を増加させる。この質量付加効果により、振動子の共振周波数が低下する。この共振周波数の低下量 Δf は吸着した匂い分子の質量に比例することが知られている。さらに、匂いの種類を識別するために、各種のPVCブレンド脂質膜を塗布した水晶振動子が用いられ、マルチセンシングを可能としている。センサー出力と各種の臭気濃度との関係を図10

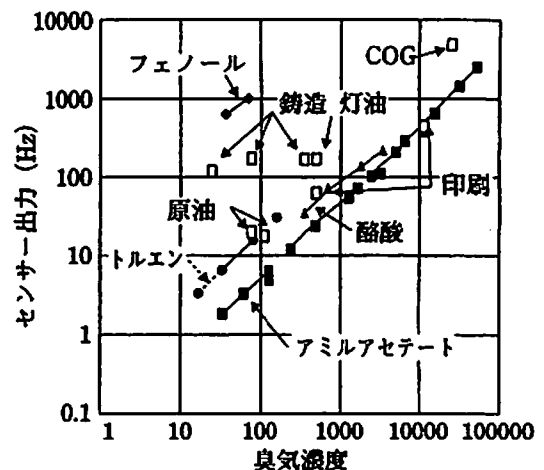


図10 臭気濃度との相関

に示す。この図のプロットから分かるように、このセンサーは各種の匂いを識別する事が可能であり、その出力はアミルアセテート濃度と線形関係にあることが

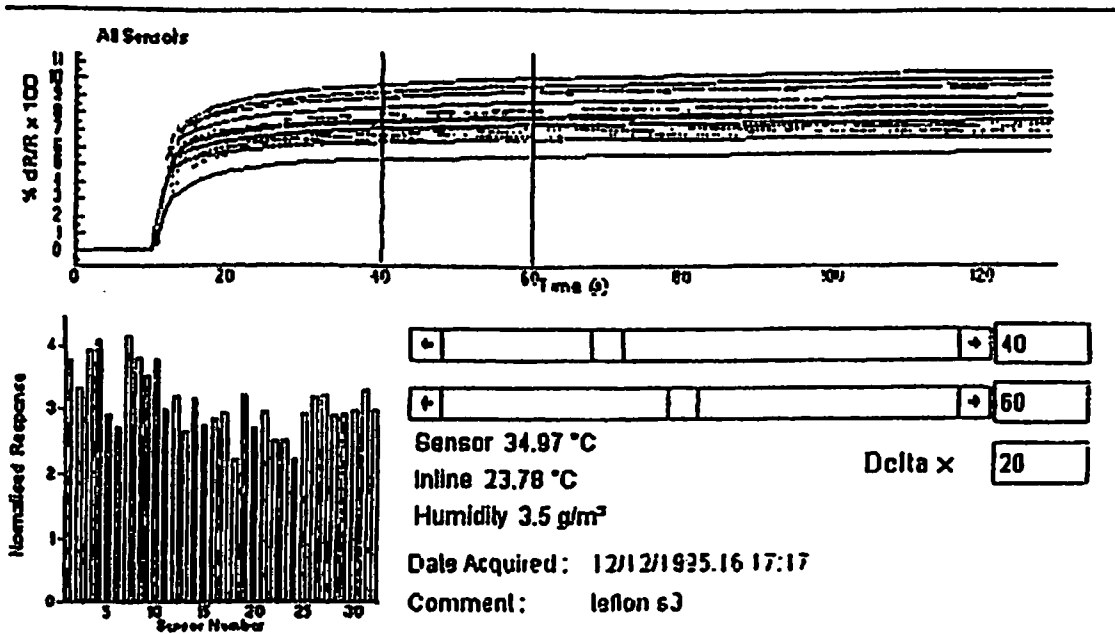


図11 膜電気抵抗式匂いセンサーの出力
(アロマスキャン社提供)

分かる。食品を対象とした測定例は数少ないが、密閉した袋の中に放置したバナナの香りに対しては数100Hzの応答が得られており、今後、食品、青果物および花卉への応用が有望視されている。

膜電気抵抗式匂いセンサーは多数の帯状高分子膜の電気抵抗を同時測定し、その経時変化のパターンをクラスター分析して匂いを判別する方式となっている¹²⁾。匂い感応膜には改質ピロール、アニリン、チオフェンの誘導体の共または重合によって製造される半導体ポリマーを使用している。センサー部分には15mm角のセラミック基盤上に32種類の膜が配列されている。このセンサー上に匂い成分を含み調湿された空気が導入されると、感応膜は選択的に匂い成分を吸着し、その結果、膜の電気抵抗が変化する。その出力例を図11に示す。匂いの識別法にはクラスター分析が用いられる。このセンサーを用いてカマンベールチーズの熟成過程における匂いの変化をモニターした例を図12に示す。図のXY座標は香りの違いの程度を平面座標上に示すためのもので、物理化学的に意味のある量を示すものではない。この無次元座標にヒトの感覚量を盛り込むためには、これらのデータに主成分分析などの官能評価における数量化手法を適用する必要がある。カマンベールの熟成過程はY軸方向の匂い変化として現れ、熟成過程でのカビの発生が検知可能であることが分かる。現在、このセンサーの多方面における適用可能性を探る研究が進められている状況にある。

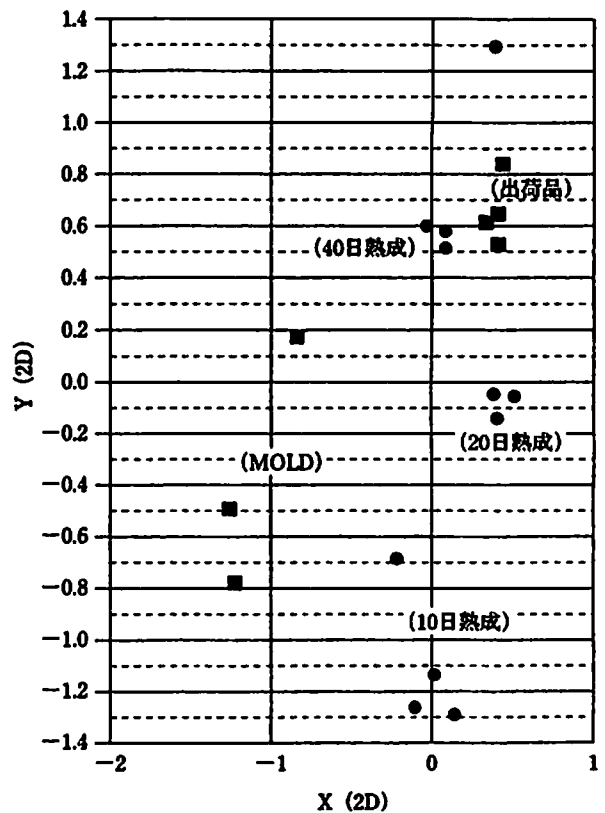


図12 カマンベールチーズの熟成過程における匂い変化

5. 脳波・脳磁波による感性計測

これまでに述べたように、食品感性工学の主要な課題の一つは、「人が食品との関わりの中で、それをどのように受容し、また、評価・判断しているかを客観

的に計測し、そのプロセスを解明すること」である。そこでは五感を対象とする情報処理のメカニズムが解明される必要があり、このためには食品に対する人の生体反応を非侵襲 (non-invasive) に計測しなければならない。前にも述べたように、人の生体反応を計測する技術は主に医療分野で発達し、計測対象により他種類存在する。これらの中には感性の客観的計測技術も含まれ、例えば、我々が健康診断で経験する血圧、心拍、瞳孔反応、心電図などの計測技術などは馴染み深い。この他にも、「うそ発見器」などがあり、周知のように犯罪捜査の客観的データとして重要視されている。これは精神的な緊張や情動興奮による手足の発汗現象を利用したもので、この精神性発汗量を皮膚の電気抵抗や電位の変化、すなわち皮膚電気反射 (GSR) として観察する技術である。これらの生理現象は自律神経系により制御され、その特長はこれらの制御が我々の無意識下で行われることにある。

これに対し、中枢神経系は脳内に存在し、数十億個の脳神経細胞から構成されている。脳の組織の中でも大脳皮質部は大脳表面近傍の薄い層として存在し、外部情報に基づき高度の精神活動を司る。また、そこでは特定の機能を担う脳神経集団が局在していることが知られている。従って、大脳皮質部は感覚や感性に深く関わっているといえる。現在、脳を対象にした非侵襲計測法には①脳波 (EEG)、②脳磁図 (MEG)、③陽電子放射撮像法 (PET)、④核磁気共鳴撮像法 (MRI) などがある。脳波や脳磁波の計測技術はこの大脳皮質部を含め、脳内の情報処理プロセスを解明する有力な手段として脚光を浴びているが、ここでは、主に通産省電総研大阪ライフエレクトロニクス研究センターで行われている嗅覚の計測法につき紹介する³⁾。

5.1 脳波による匂いの感性計測

これまで嗜好性に関する脳の活動部位は「嗅覚誘発脳波」により計測されてきた。そこでは脳がある目的を持って活動している状態にあるときには、数十から数百万のニューロンが集団として同時に活性化されていると考え、この同期ニューロン全体を一つの電流双極子 (電流ダイポール) と見なし、その位置と大きさをコンピュータにより特定する方法が用いられている。すなわち、先ず電流双極子の位置を適当に定め、この仮定の下で頭皮上の電位分布を境界要素法により計算し、次にこれと実測データとの差異が最小となるように最初に仮定した電流双極子の位置を順次修正して行く方法が採られる。これに要する修正回数は50~

200回で、最小値に収束する計算時間は最近の高性能パソコンで一秒以内となっている。現在では「感性スペクトラム分析法」などが提案され、脳波の解析から感情の変化を数値的に表現する試みも進められている。このように、一時停滞していた脳波計測技術は、これらの方法の開発により転換期を迎えており、その応用範囲は拡大してゆくものと考えられている。

5.2 脳磁場計測

この方法は前に述べた電流双極子が生み出す微弱な磁場を脳磁計により計測する方法である。そのセンサーは超伝導の研究成果を応用したもので、その構造は、図13に示すように、ジョセフソン効果を応用した磁気

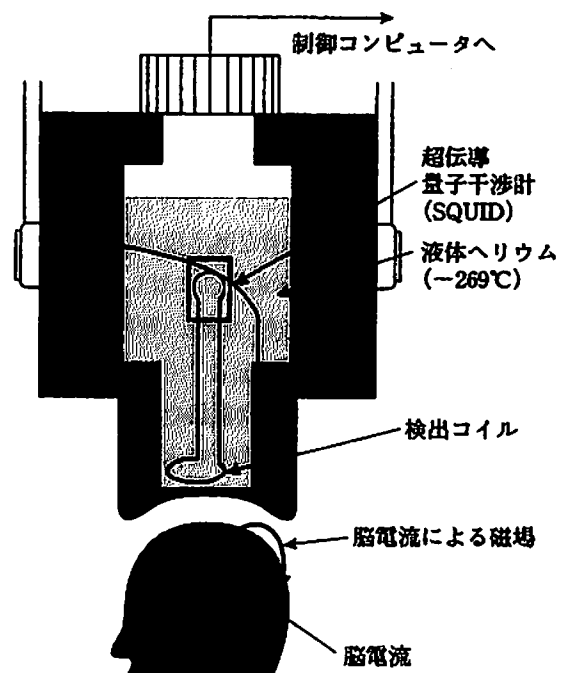


図13 脳磁計の構造

検出装置である超伝導量子干渉計 (SQUID) を液体ヘリウムの中に浸し、これに超伝導材料で作られた検出コイルが接続されている。このコイルに極微弱の磁場の変化が加わるとSQUIDの電圧が変化している。最近では、頭全体にSQUID素子を配置した全頭型脳磁計 (whole-head SQUID) が開発され、被験者に多チャンネルSQUID素子を配置したヘルメットを被せて測定を行い、頭全体の脳磁図を得ることが可能となっている。しかし、生体から発生する電磁波は極めて微弱であり、その強さは地磁気の十億分の一というレベルである。従って、脳磁計による計測は磁気シールドルームの中で行われる。大阪の電総研に設置されている122チャンネルの脳磁計では、アミルア

セテートの誘発脳磁界が計測され、得られた脳磁図と被験者のMRI脳断層画像を重ね合せ、電流双極子追跡法などにより脳内応答部位が推定されている。その結果、ヒトの嗅覚中枢部位が前頭葉眼窩野の両サイドにある二カ所の溝の部位にあることを世界で初めて明らかにしている⁵⁾。

おわりに

食嗜好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嗜好関連要因を計測して、その特徴を抽出し、美味しさに客観的なスケールを与えるだけでは、嗜好の計測が完成したことにならない。また、技術面では、人の食品に対する感情の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あきらかである。しかし、本稿で紹介したように、対象物の属性を多方面から計測するだけでなく、その計測結果に感性による判断結果を加味して評価する、いわゆる「感性計測」の分野が急速に発達してきている。これらのセンシング技術が官能評価に取って代わるほどの信頼性を有しているとは考えられないが、官能評価に客観的スケールを持ち込む補助的方法として有効利用され始めている。今後、センシング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「食品感性工学」の発展が期待され

ている。

参考文献

- 1) 佐藤邦夫, 平沢徹也: 感性マーケティングの解析手法, 感性マーケティングの技法, プレジデント社, 東京 75-128 (1996)
- 2) 相良泰行: 光センシングによる青果物選別システムの開発動向, 日本食品工業学会誌 43 (3) 215-224 (1996)
- 3) 徳永史生: 光のセンサー, 生物のスーパーセンサー (津田基之編), 共立出版, 東京 17-30 (1997)
- 4) 都甲 深: 味覚計測へのセンサー利用の現況, ジャパンフードサイエンス 37 (3) 31-37 (1998)
- 5) 外池光雄: 匂いセンサー, テクノインテグレーション 8 (7) 56-60 (1992)
- 6) 山本 隆: おいしさの評価にかかわる脳機能, 日本官能評価学会誌 3 (1) 5-9 (1999)
- 7) 中内茂樹: ニューラルネットモデル, 脳・神経システムの数理モデル (臼井支郎編), 共立出版, 東京 106-125 (1997)
- 8) 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) 456-466 (1994)
- 9) 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) 16-32 (1997)
- 10) 相良泰行: 食品感性工学の提唱, 食品感性工学 (相良泰行編), 朝倉書店, 東京 1-18 (1999)
- 11) 松野 玄: 水晶振動子式脂質膜においセンサーの開発動向, 平成7年度農業施設学会秋期シンポジウム講演要旨集 26-31 (1995)
- 12) 相良泰行: 最新の食嗜好技術の動向, ジャパンフードサイエンス 37 (3) 23-30 (1998)

海外情報

■食品包装に影響する重要度の順位

フード・エンジニアリング誌が読者に対して、今

製品の安全性	84.6
消費者の利便性	76.4
材料のコスト	76.0
製品のセルフライフ	74.4
包装ラインのオートメ化	72.2
包装ラインのスピード増加	72.4
二次材料のコスト	70.2

後二年間に食品の包装に関して重要と思われるものの順位を尋ねた結果の点数である。

柔軟性・転換性増加	69.4	バルクサイズ	56.4
新包装材料	68.6	環境への関心	56.0
ラベル貼り・コード化技術	64.2	再封鎖性	54.2
特注包装	63.4	接着技術	53.6
フィルムバリアー性の向上	59.8	活性包装	50.8
柔軟包装の傾向	59.0	多機能包装	47.4
包装サイズの多様化	57.2	電子レンジ対応	39.6

(Food Engineering 11月号)