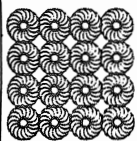


食嗜好のセンシングから 食品感性工学の展開に向けて



相 良 泰 行*

1. 食のアメニティーと感性工学

近年、われわれの生活に「快適さ」をもたらす多様な事象を表現する言葉として「アメニティー (amenity)」が広く使われるようになってきた。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人の「嗜好」の程度であり、これと逆方向の尺度は「嫌悪」で表現されよう。食品に対する人の味覚や嗜好をなん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、食品産業分野での新食品の開発やプロダクトマネジメント、さらにはマーケティングの戦略に革新的な改善を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「人の食に対する感性」を数量化しなければならないと考えられる。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反応を各種の「官能検査」手法を適用して把握する努力がなされてきた。しかし、官能検査にも再現性や信頼性に疑問が残る場合が多く、検査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。

一方、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が、「食品の味」に関するセンシングや「人の食嗜好」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」であり、しかも同時にこれらを満足する計測や情報処理の手法であろう。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」や糖酸度センサと画像処理技術を組み合わせた「青果物の選別システム」等が実用化され、世界的な工業技術レベルからみても、農業分野で開発された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、生体が保有しているセンシング・通信・判断システム等のメカニズムの解明が精力的に進められている。これの主な推進力は、これらのメカニズムの解明が医療分野の緊急課題である癌、エイズおよびパーキンソンなどの難病防止と治療に新しい道を開くものと考えられているためであるが、工学分野でもこれらのメカニズムを模倣する形で、バイオセンサ、特に各種の脂質膜を利用した味覚や匂いのセンサが実用化されつつある。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や学習機能を持つニューラルネットワーク・モ

* さがら やすゆき
東京大学 大学院 農学生命科学研究所 農学国際
専攻 助教授

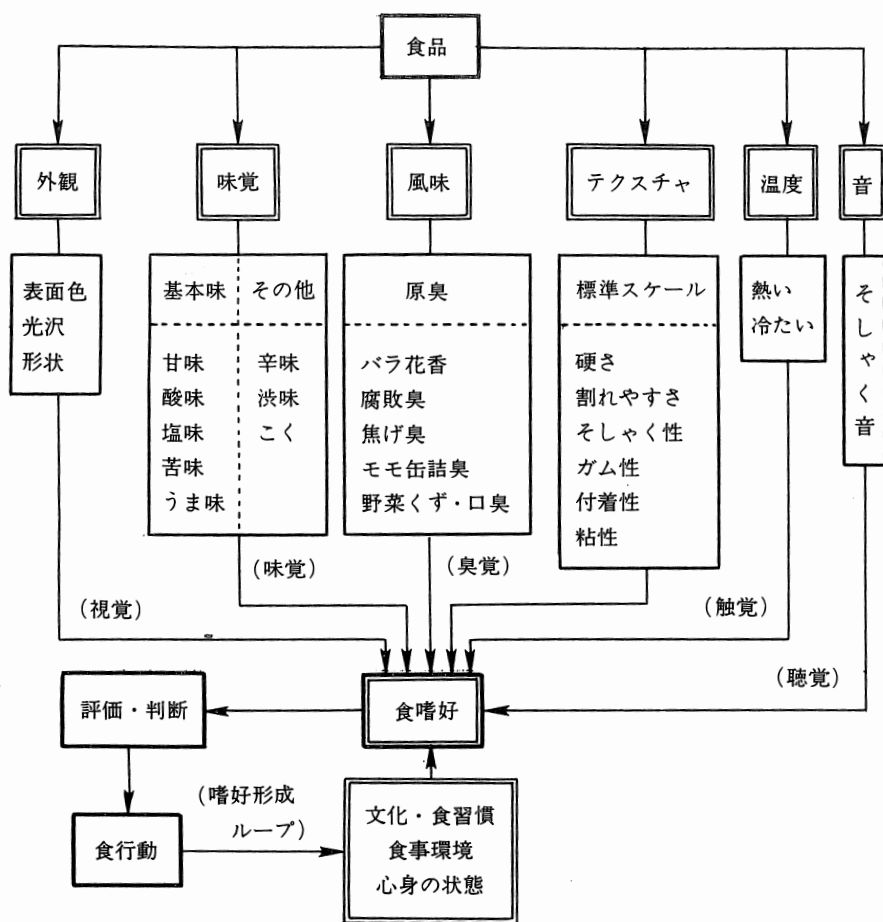


図1 食嗜好の多層構造と食行動

デルが考案され、その利用は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味覚や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¹⁾。

ここでは、まず筆者が提唱している「食品感性工学」の全体像を示し、次に、農産物や食品を対象とした光センシングの具体的成功例として「米の食味計」、「青果物選別システム」および「果実の糖酸度・熟度センサ」の開発状況を概説すると共に、その成功に寄与した要因と問題点について考察する。これらの結果は将来の食品感性工学の発展の課題と研究・開発の方向を示唆するものとする。

2. 食嗜好に関連する要因

図1に人の食嗜好に影響を及ぼすと考えられる諸要因の多層構造と食行動との関連性を示す。食品はその属性により人に認知され、また人の感性を刺激すると共に育成する。人が感知する食品の属性には「外観」「味」「風味」「テクスチャ」「温度」「音」等が挙げられ、これらの属性が異なることにより食品は人により分類され、特徴づけられている。

(1) 外観

食品の外観は視覚により検知され、その情報から食味や風味が予測される。例えばリンゴを例に採ると、われわれはまず、対象物がリンゴであること、すなわち食品の種類を認識し、検知した形状・表面色・光沢などの情報を総合的かつ瞬時に判断して品種を特定し、食行動に移る前に熟度・食味・風味までを予測することが可能である。さらに、対象物がその個人にとって「酸っぱそう」

と予測されたり、これは「ゲテモノである」と認識されれば、唾液の分泌や鳥肌等の生理反応を引き起こす場合もある。このように視覚は対象物を遠隔・非破壊・高速度で検知・評価して、人を食行動に移らせる最初の誘因感覚として、また、人に食情報を入力・学習させるスターターとしての重要な役目を果たしていることになる。

(2) 食味

食味は図中に示した5つの基本味とその他の多様な味から構成されるものと考えられている。基本味の中で「甘味」「酸味」「塩味」「苦味」の4つは、20世紀初頭に「多様な食味を記述するのに用いることができる最小数の味」として提唱され、すべての味はこれら4つの基本味を頂点とする「味の正四面体」空間の特定の位置として示されると考えられた。しかし、実在する多様な味のすべてが4つの基本味を混ぜ合わせただけで成り立っていると考えることには無理があり、この説の妥当性は失われている。しかし、基本味を頂点とする多次元空間座標で味を特定・表現するアイデアは味の数量化手法の手段として正当性を失っていない。現在では少なくとも4つ以上の基本味とその他の副次的な味から構成される座標が必要と考えられている。近年、第5番目の基本味として「うま味」が世界的にも「UMAMI」という日本語で認知されている。この味は日本から発信されて世界的に認められたいわゆる「だし味」であり、化学物質ではグルタミン酸ソーダの味がこれに含まれる。

その他の分類の中でも「辛み」「渋味」は人が共通に認識できる味として、その化学的呈味成分も比較的特定できる場合が多いが、ビールのコマーシャルに用いられる「こく」「きれ」「のどごし」といったような言葉で表現される味は万人が共通に感じている味なのかどうかは不明であり、従ってその呈味成分を特定することも極めて困難である。

(3) 風味

食品の「風味」は「香り」・「匂い」・「芳香またはアロマ」・「臭さ」などとも表現され、こ

れらの言葉の中にはすでに嗜好と嫌悪の感情が含まれている。例えば人に好ましい表現としては「香り」「アロマ」が挙げられ、同じ「におい」でも、「匂い」よりは「臭い」の方が嫌悪度合いの大きい表現となる。その理由として、「臭い」は「くさい」とも読まれることを思い浮かべれば十分であろう。また、「風味」は食品を口の中で味わっている時に感じられる匂いを含む表現として、一方「アロマ」は空中を漂ってくる香りを指すものとして区別する場合もある。このように「風味」は食品の属性として大切な要因であるがその表現法は極めて曖昧であると言える。したがって、味の構成要素としての「基本味」に相当する「基本風味」、すなわち「原臭」を特定することはさらに困難であり、一般に認められた定説は存在しない。図中に示した原臭はフランスの香料研究者が指摘したものの1例であるが、この他にも J. E. Amoore が提唱した7つの原臭が知られている²⁾。すなわち、①エーテル臭、②カンファー臭、③ジャコウ臭、④花の匂い、⑤ハッカ臭、⑥辛臭、⑦腐臭である。これらの臭いは先天的に特定の匂いだけが感知できない「嗅覚欠如」患者の欠如臭に相当していることがしばしば指摘されてきたことから、逆に人が検知している確からしい原臭と考えられてきた。

さて、図中に示した原臭の中で一般に好ましいと考えられている匂いは「バラ花香」と「桃缶詰臭」であり、逆に、「野菜くず臭」や「口臭」は嫌悪の対象となっている。「焦げ臭」と「腐敗臭」はその発生源の種類と焦げや腐敗の程度によって好き嫌いが分かれる。例えば、パンの焼成では食欲をそそるクラスト（通称ミミと称される外皮部分）の焦げ臭が品質設計の重要な要因となっている。

一般には「腐敗臭」の1種と考えられている「発酵臭」は好まれる場合が多く、醸造関係者にとってはこれのコントロールが重要である。ただし、関東人が愛してやまないと言われている「くさや」の発酵臭が全国の人々に好まれるとは到底考えられないので、「腐敗臭」もしくは「発酵臭」は地域的・個人的な好みに依存する度合いが大きいと考えられる。

(4) テクスチャ

テクスチャ (texture) は食品の口腔内における「噛み心地」を表現する用語であり、消費者のテクスチャ嗜好を知ることは新食品の開発や販売戦略にとって重要である。例えば、麺類の「こし」の発現機構の解明や「グミ菓子」「裂きチーズ」「蟹足カマボコ」の開発では材料の粘弾性特性と消費者好みのテクスチャを知ることが成功の鍵となった。しかし、味や匂いと同様に、テクスチャを構成する要因を完全に表現することも困難である。そこで、図中には米国ゼネラルフーズ社で開発された「テクスチュロメーター」の標準スケールとして提案された指標を示した。しかし、例えば新鮮なリンゴの咀嚼初期の段階で感じられる「シャリシャリ」とした感覚量はここに示した標準スケールの指標とは一対一に対応しないようであり、「硬さ」と「割れやすさ」を組み合わせた表現にならざるを得ないと考えられる。また、これらの指標に含まれる嗜好の程度を推察することも困難であり、わずかに「付着性」がどちらかと言えば嫌悪の対象となり、また、若年層は比較的「硬い」食品を嫌い、「そしゃく性」の高い食品を好む傾向にあることが知られている。

(5) 温度と音

食品には食べ頃の最適温度が存在する。例えばビールの最適温度は夏期において7℃と言われ、このことは最適温度も環境温度により変化することを意味している。これは飲料消費量の季節変動に端的に示され、また、パーティーなどで冷暖房設備の稼働を停止させると食物の消費量は減少する事実にも現れている。また、親子の家庭間、特に嫁と姑間のつき付き合いは「スープの冷めぬ程度の距離」を保つことが良いと言われ、この教訓はスープには適度な熱さが必要とされ、また、そのようなスープが好まれることを暗黙に表現している。しかし、この「適度」な熱さにも個人差があり、比較的高温度の食品を嫌い、いわゆる猫舌の人の存在もある。すなわち、食品の温度は環境温度や個人差に左右されるものの、季節の変化に伴う消費者の嗜好変動に影響を及ぼす食品の属性

として、特にマーケティング戦略の面で重要な位置を占める。

嗜好に影響を及ぼす音の例としては「調理音」や「そしゃく音」が挙げられ、前者は中華料理の調理音に典型的に示され、後者にはナッツ類を噛み砕いている時の「カリカリ」音や一度に大量の飲料を飲み込むときの「ゴクン」と表現される生理音も含まれる。そしゃく音の種類はテクスチャと深く関連して多様であるが、通常われわれは口腔内で発生するこれらの多種類の音を聴いている。しかし、そしゃく音はむしろテクスチャの属性的要因として無意識に感知している度合いが大きい。従って、好ましいテクスチャを感じさせる食品に対して、人がそのそしゃく音の嫌悪から食行動を拒否する傾向はほとんど無いものと考えられる。すなわち、食品の属性の中で「音」が嗜好に影響を及ぼす度合いは他の属性に比べて小さいと判断される。

3. 食行動と嗜好の形成

(1) 嗜好形成ループ

特定の食品に対する人の嗜好形成は、まず前節で示したような食品が保有している物理化学的属性を「視覚」「味覚」「臭覚」「触覚」「聴覚」を司る感覚器官、すなわち、「五感」により感知することに始まる。次に個人が遺伝的に持っている官能的気質や生まれ育ってきた文化・習慣により学習され、記憶されてきた判断基準、すなわち「第六感」にそのときの心身の状態・食事環境条件等を加味して、「見ただけで嫌い」「美味しそう」「まずそう」「少しなら食べられそう」などと予断して食行動を起こす。また、そしゃくの過程では嗜好に関係する属性の多様な変化をセンシングすると共に、好き嫌いの程度を判断しながらこれらの情報を脳に入力する。最終的にはこれら入力された情報が総合的に評価され、さらに記憶として蓄積され、場合によっては「第六感」に革新的修正がもたらされる。各種の食品に対してこのようなパターンが繰り返され、その学習効果によって嗜好が形成されるものと考えられる。筆者は図1にこのパターンを「嗜好形成ループ」と名付けて示している。

(2) 嗜好の特質

嗜好形成ループは「嗜好品」を対象とした人の喫茶・喫煙・飲酒に関する挙動として典型的に示され、形成された嗜好の特色は新嗜好の形成を求める多様性と旧嗜好の習慣化をもたらす保守性にある。喫煙を例に採ると、タバコ製造会社では新製品の開発により消費者の嗜好の変化と多様性に対処する一方で、戦前に発売を始めた銘柄の生産を現在も継続して保守性に対処している。未経験の食品素材に対する拒絶反応は嗜好の保守性を明瞭に示している。筆者の経験によれば、近年、インドネシアではカップラーメンが爆発的に消費されるようになってきたが、これはインドネシアの人々がラーメンに類似したビーフンや中華麺を食べてきた経験があったためである。しかし、日本式の「ザルソバ」にはほぼ完璧な拒絶反応が示される。これはまず「ぱさぱさ」したテクスチャを有するソバ麺への嫌悪感、次に、口腔全体を刺激するトウガラシとは異なり鼻腔を口腔内部から刺激するワサビや生ネギ等の素材に対する拒絶反応、さらには「つけ麺」形式の食べ方、すなわちインドネシアでは下品と考えられている摂食様式に対する拒否反応が重なったためと分析している。このことはインドネシア人の食嗜好形成要因の中でも、とりわけ食素材と食文化の判断基準に「ザルソバ」が合格しないことを如実に物語っている。しかし、このような保守的傾向も教育程度の高い人々にとっては薄いものとなり、これらの人々は数回の嗜好形成ループの学習により「ザルソバ」をはじめとし、「すき焼き」「スシ」「シャブシャブ」などの異文化からもたらされた食物を好んで食べるようになる。教育程度の高い知識人の住民割合が高いと考えられているジャカルタでは、これらの日本食レストランが繁盛し、家族でこれらの料理を楽しむことが一種の経済的・社会的ステータスシンボルと考えられている節がある。このことは教育の程度や異文化間の交流のあり方も食嗜好の形成要因であることを示している。ロシアや中国でも現地の人々にとっては比較的高価なマクドナルドのハンバーガーが大量に消費されている。その理由としては、ハンバーガーが世界に

通用する「簡便で」「美味しい」属性を保持していることに起因するだけでなく、異文化へのあこがれが食行動に駆り立てる誘因となっているものと推察される。

人の嗜好の強度は食品素材や加工・調理の程度によっても異なり、主食である御飯や食パンに対しては弱く、多様なスパイスを駆使した調理食品に対しては強く、さらに嗜好品には最大限に発揮される。このことは主食となりうる食品はその嗜好強度が最も低いものに限定され、かつ同一の食文化圏に生存する大多数の人々に日常的に消費されうる属性を有している必要がある。逆に嗜好品に対する食行動は個人的な嗜好程度に左右され、食行動の習慣化により特定の人々に限定的に消費される。嗜好品摂取に関する個人の習慣化は、これをたしなむ人とそうでない人との間に軋轢をもたらす場合があり、今や世界的な社会現象として盛り上がりを見せている「嫌煙権」運動がその典型的な例である。

(3) 嗜好の数量化と技術の役割

これまで述べてきたように、人の食嗜好と食行動はその個人が生まれ育った自然・経済・文化・民族・教育程度などの条件により影響を受けることが知られているが、ある地域や民族または嗜好強度のレベル等を特定する条件を設定すれば、マーケティング分野で用いられているさまざまな統計的数量化手法を適用することにより、設定した条件を満足する大多数の人々に共通する嗜好基盤の抽出が可能である。この基盤の上に立って先端技術を駆使した嗜好の計測・評価システムを駆使することにより、個人の嗜好にも一定の物理的スケールを与えることが可能と考えられる。

人の味覚や嗜好は一見極めて主観的であるが、計測・評価技術の役割はこれらに客観的で、可能な限り物理的なスケールを与えることである。例えば、時間を例に採ると、主観的な時間として生物時計が関与する時間がある。すなわち、航空機利用による時差ボケや空腹感（腹時計）であったり、長く感じる退屈な講演や待ち合わせ時間、短く感じる恋人同士のデートの時間であったりする。しかし、一方でわれわれは国際的に標準化された、

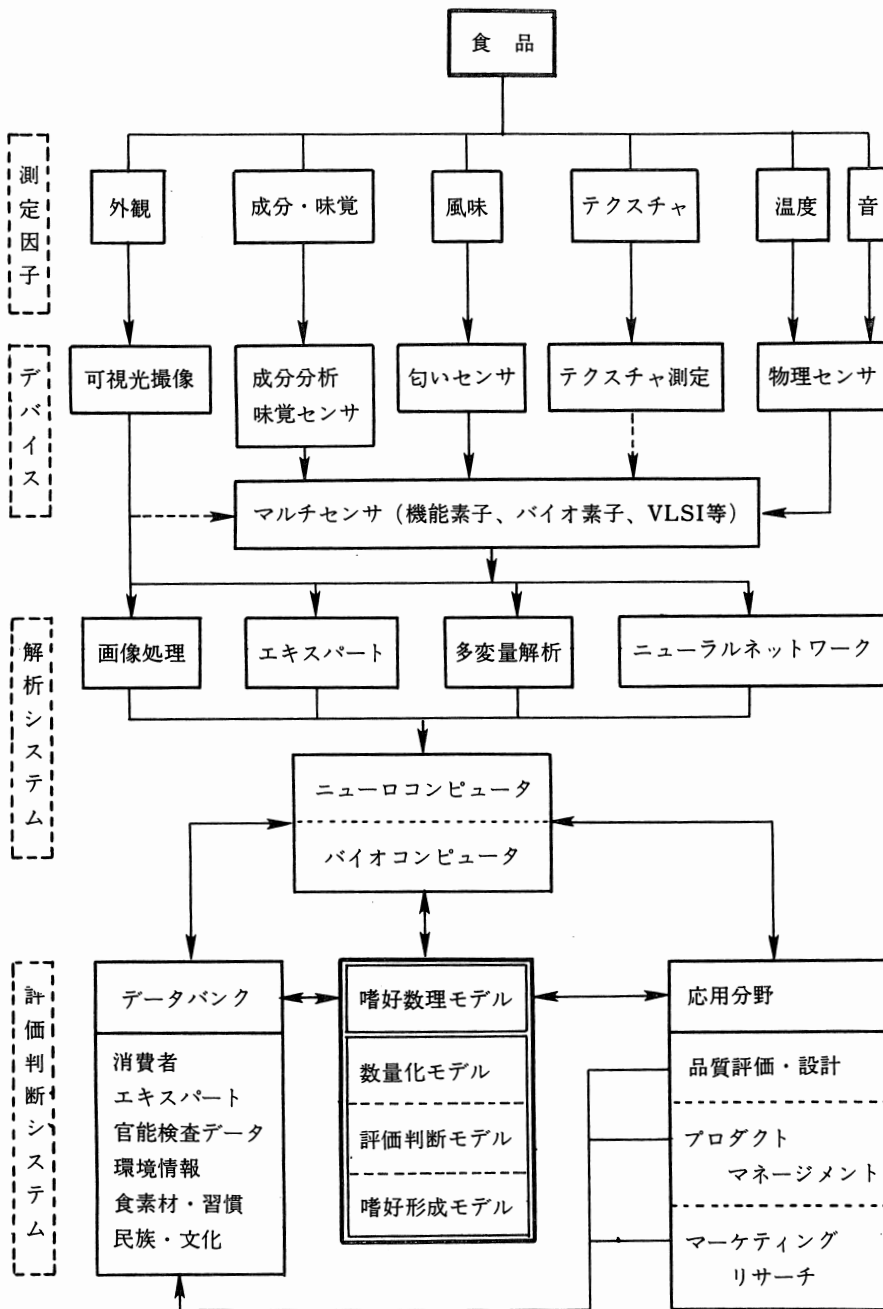


図2 食嗜好の計測・評価システムと食品感性工学の領域

時計という器具で正確に計れる客観的な時間、すなわち物理的な時間スケールを保有している。この簡単な例えのように、主観的な人の食嗜好に客観的で物理的なスケールを与えるためのデバイスとこれによって得られる信号の伝達・処理・評価・記憶装置とこれら进行操作するための数理モデル等を開発し、これらの情報をわれわれの食生活や食品産業の多方面にわたる目的に効果的に利用できるシステムの構築こそが、ここに提唱する「食品感性工学」の技術的目的である。

4. 食品感性工学の構築

(1) 構築の前提条件

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2に提唱した。この図に示した領域は基本的に図1に示した人の食嗜好と摂食行動に関係する諸要因を計測・評価技術と各種の数理モデルで置換したものである。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。この領域には「バイオエレクトロニクス」と称される広大な研究領域で開発される先端技術、特に電子応用技術の成果を導入することを念頭に置くにとどめ、簡略化のためにこの図には特に示していない。しかし、その中で将来食品感性工学の領域でも重要と考えられる技術については選択した上で、個々に示してある。たとえば、図中の「マルチセンサ」や「ニューロおよびバイオコンピュータ」等がこれに相当し、これらの嗜好に関連する機能については簡単に概説する。

(2) デバイスと解析システム

図2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。解析システムの中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「美味しさ」を評価する部分であり、現在でも食品の外観・成分・味覚等の評価に用いられている手法である。食嗜好の観点に立てば、センサからこれらの解析手法に至る領域は、ある食品を人が摂取する場合に、食品の属性が人の生理的变化に及ぼす影響を物理化学的な「強度」として客観的に把握する領域に相当する。現在のところ、食品の属性は各種のセンサ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て評価され、「食味計」単体として市販されている³⁾。しかし、将来は個々のセンサ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」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。

(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の計測から得られる物理化学的な「美味しさの強度」と人の嗜好と食行動、さらにマーケティングリサーチ等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、嗜好は元來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く、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2つのコンピュータの実現が待たれる。

(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理モデルを構築する、主にソフトウェアを担当する部分である。嗜好の数理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。

等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等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。データバンクの中には、消費者の嗜好動向、食品企業でテイスタ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理モデルの構築に利用される。例えば、テイスタの官能検査手法は各種センサまたはマルチセンサ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

表1 理工学的計測・分析手法の食品分野への適用例

	計測対象・方法・デバイス	適用例・(適用予測例)
電磁波吸収特性	表面色測定	RGB 撮像管—画像処理システムによる品質判定・分級成分分析
	分光分析	
電磁特性	赤外線成分分析	米の食味計、青果物の糖度・熟度センサ、卵の判別蛍光によるアフラトキシン検出、茶・ミカンの分級(内部構造の画像処理、ステレオロジー)
	遅延発光測定	
	X線 CT スキャン	
	原子吸光分析	
電磁特性	バイオフォトン測定	無機成分の微量分析(人の感情、嗜好に対する感性)
	インピーダンス測定	水分・糖度の測定、熟度の評価と判別 水分・密度の測定—スイカ空洞果・熟度の判別 水分測定・果汁の糖度、青果物の熟度判別 油脂中の固体脂含有量、成分分布、拡散係数の測定 遷移金属の測定、油脂や乾燥食品・貯蔵米の酸化
	静電容量測定	
	誘電率測定	
	核磁気共鳴画像解析	
電子スピン共鳴法		
音響特性	打音解析	果実の空洞果検出、固有振動数等の力学的物性計測 大豆の含水率、牛乳の脂肪含量、断層エコー撮影 弾性・密度・粘性等の力学的物性と分布画像計測(可視光パルス照射による発生音響スペクトル解析)
	超音波透過・反射法	
	超音波顕微鏡	
	光音響分光法	
バイオセンサ	脂質膜味覚センサ	成分・味覚の検知、(味覚・嗜好の数量化) におい成分の検知、(におい、嗜好の数量化) 糖・酸・脂質・尿酸等の検出とプロセス計測制御 糖・酸・抗生物質等の検出とプロセス計測制御 ホルモン・血液型等の測定(感情変化の検出)
	水晶振動子式においセンサ	
	酵素センサ	
	微生物センサ	
	免疫センサ	
力学的特性	圧縮・引っ張り試験	力学物性・強度特性の計測 粘弾性特性の計測とそのモデリング 弾性係数、容積等の遠隔測定 液状・半固形材料の粘性・性状変化の検出 かみごこちの数量化
	クリープ試験	
	共鳴振動法	
	細線加熱法	
	テクスチュロメーター	
温度	放射温度計	非破壊遠隔測定、サーモグラフィによる温度分布 体内温度遠隔精密測定—消化器官の温度と感情変化
	水晶温度計	

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ィ理論等を導入すること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等が挙げられる。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ことになる。

5. 先端技術の動向

(1) センシング・デバイス

食品に対する嗜好を決定するさまざまな要因の中で、食品の属性と人の感性に関する要因を測定する方法およびデバイスの適用例を、将来予測も含めて表1に示した。この表にまとめた計測法は主に非破壊遠隔測定が可能な方法であり、これらに人の感情変化を計測するのに有用と予測される方法を加えている。ここに掲げた手法はその大部分が現在でも周知の代表的技術で、食品の外観はRGB カラー撮像管と画像処理技術、味覚や風味

は近赤外成分分析法や最近脚光を浴びている各種のバイオセンサ、特に脂質膜等を用いた味覚⁴⁾・匂いセンサ⁵⁾等が近い将来利用可能で有力なデバイスとして挙げられる。デバイスの分野で残された問題は信頼性の高いテクスチャの計測と評価法であり、古くて新しい問題の代表格でもある。いずれにせよ食品の多様な特性を総合的に計測し、物理量として出力するマルチセンサの出現が待たれる領域である。

表1に示した「遅延発光測定」は紫外線をクロロフィルに照射するとクロロフィルを構成している分子の基底状態にある電子が励起され、準安定状態を経由して再び基底状態に復帰するときに放出される極微弱な蛍光を測定する方法である。一般に遅延光の光度は弱いものの減衰時間が長く、この発光のパターンを画像として計測することにより、生体からのメッセージを受け取ることが可能になるものと考えられている。

人の感情変化を非接触で計測する可能性を秘めている方法に、バイオフィトン (Biophoton) の計測法が挙げられる。バイオフィトンの発光は生体を構成するミクロな物質系から生体全体のマクロな系に至るあらゆるレベルで観測されており、生命を維持している生体からの光のメッセージと考えられている。発光の特性は生命活動や生理機能の発現・変化に応じて変化することが次第に明らかにされてきた。この計測技術は光センシングにおける未踏極限技術として紹介されており⁶⁾、現時点では人の皮膚表面から放射されるバイオフィトンの画像計測が試みられている段階にあるが、この計測法が確立されれば次のステップは人の感情変化を画像パターンから推測する可能性を探ることになる。

この他に感情変化の測定には免疫センサによるホルモン・血液型 (血液型が嗜好形成に関与するものであれば) の検出、細線加熱法による体液性状変化の検出、水晶温度計の体内投入による体内温度遠隔精密測定等が有効になるものと予測している。最近、新聞紙上に水晶温度計による消化器管内温度の測定法が医療先端技術として紹介されていたが、美味しいとかまずいとか感じながら消化するときの胃内消化反応速度差を温度差として

検出することが可能であれば、嗜好の計測技術の面からも興味ある問題ではある。

(2) 感性モデリング・システム

食品感性工学の全システムの中で、最大の課題は人の味覚・食嗜好の形成過程のモデリングであろう。現存する技術の中ではニューラルネットワークの利用が有効であると考えられるが、この手法の難点は教師信号として客観性の高い官能検査結果が必要とされることである。この問題を解決するためには、まず生物の脳が行っている、興味のある部分や必要とする部分にウェイトをおいた柔軟な並列情報処理を模倣した、いわゆるバイオコンピュータ的な情報処理法の開発が必要であろう。理想的には官能検査データを必要とせず、マルチセンサで計測された物理化学的情報に基づき、人の感性、ここでは嗜好そのものまたはそれらの形成過程を数量化する手法の開発が望ましい。すなわち、嗜好モデリング・システムの構築に関連する領域の進展が期待される。このためには次に示すマーケティング手法の中で従来用いられている統計的数量化手法と上述した各種のデバイスによる計測結果とを有機的に結合するための情報工学的手法を確立することが重要と予測される。

(3) 評価・判断システム

米国の大学院ではビジネススクールの中に新製品開発のための戦略的マーケティング手法を組織的に学べる、いわゆる「プロダクト・マネージメント」のコースを設けているところが多いが、日本ではこのような講座を設けている大学は数少ない現状にある。食品感性工学はこのような研究領域を先取りし、さらに強化・発展する位置づけにある。そこでは前項で述べた先端計測技術と嗜好数理モデルを利用し、また、逆に従来の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嗜好を高度に数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、より物理的で客観性の高さ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。その結果、例えば従来社長の「鶴の一声」で決まったと言われる新製品の開発戦略等に客観

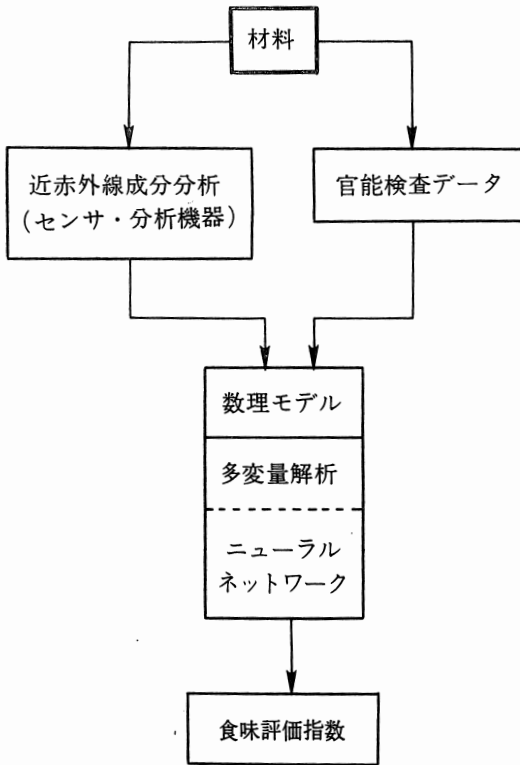


図3 米の食味計測・評価システム

的な判断材料を提供する「食品消費予測・判断システム」が選挙開票結果の予測システムと同程度の信頼性を持って実用化されることが期待される。

6. 食嗜好計測・評価の先端技術

(1) 米の食味計

現在実用化されている食味や嗜好に関連する計測・評価システムの具体例として「米の食味計」をとりあげ、その技術レベルを紹介する。図3に米の食味計の計測・評価システムの概念図を示す。このシステムの開発に当たっては、まず走査型近赤外線吸収スペクトルアナライザにより材料の赤外線吸収特性曲線を測定し、これらのスペクトルの中から呈味成分の吸収波長帯が特定されると共にその含有量が推定された。次に、機器分析によって得られた呈味成分含有量のデータから官能検査結果を予測し、両者を結合する試みが行われた。初め両者の間には線形関係が存在するものと仮定され、線形主成分重回帰分析が行われた。しかし、その結果は「食味」と「分量」の関係に非線形性が含まれることを示した。すなわち、この方法は本来変量が線形な変化をする場合に有効

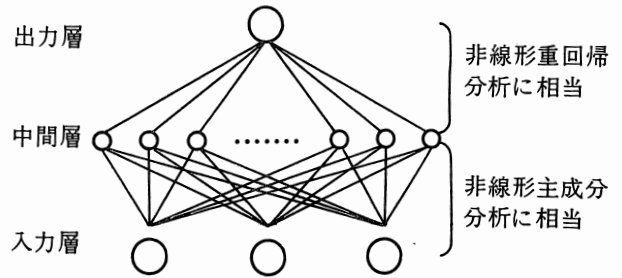


図4 ニューラルネットワークと非線形多変量解析³⁾

な方法であり、食味の推定には非線形多変量解析が必要と考えられた。そこで、図4に示すように入力層のユニット数を①白度、②水分、③アミロース、④脂肪酸度、⑤タンパク質の5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³⁾。このニューラルネットワークと多変量解析手法との対応関係は、入力層—中間層間が非線形主成分分析に、中間層—出力層間が非線形重回帰分析に相当する。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を、計測された米の食味成分から良好に推定することが可能になった。

このシステムの核心的な点は、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。このようなシステムの開発が成功した要因は、まず、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。このことが成分分析結果と官能検査データを相関させるための数理モデルに信頼性をもたらしたものと考えられる。特に、ニューラルネットワークの学習プロセスに用いる教師信号の普遍的信頼性が官能検査結果から得られた意義は大きいと考えられ、人の嗜好に関する数量化手法の重要性が浮き彫りにされている。このことは、現在、このシステムをコーヒー豆や牛肉に適用する研究が進められているにもかかわらず、このような嗜好性の高い材料に関する官能検査手法や得られたデータの解釈に疑問が残り、結果的には分量と食味評価指数との間の高い相関が得られていない

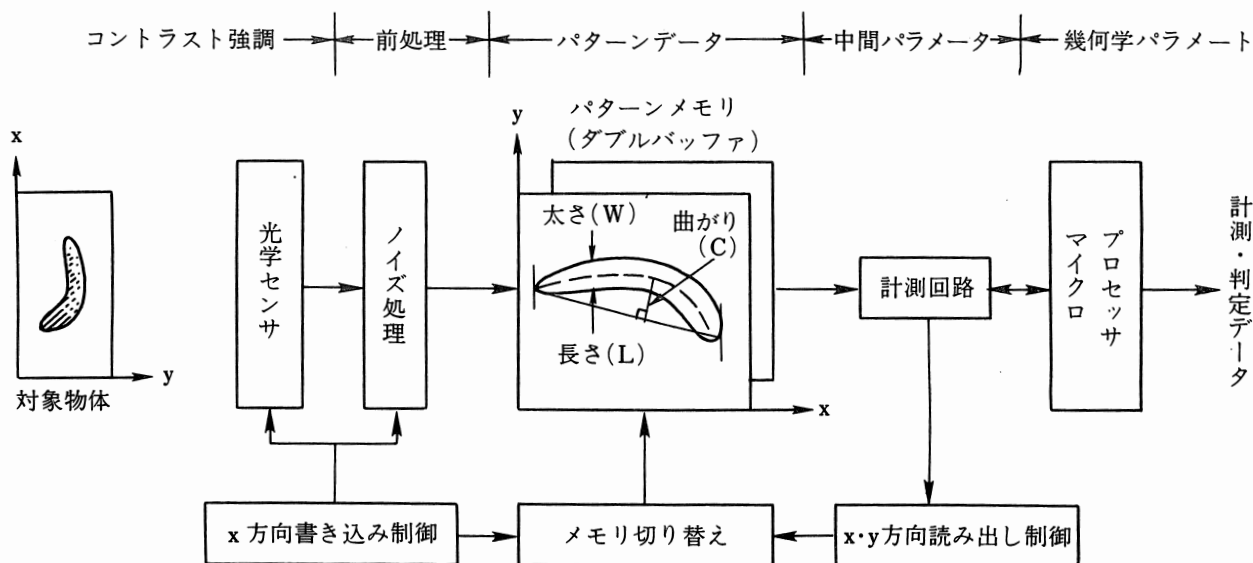


図5 画像処理選別機の計測・制御システム

現状にも示されている。

(2) 青果物のインテリジェント選別システム

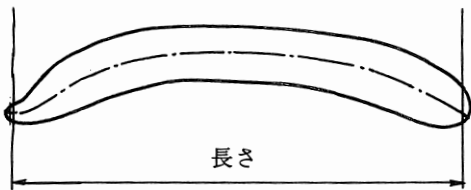
青果物を選別する意義は、所定の基準により対象品目の等階級を揃え、その基準に基づく等階級レベルの品質を保証することにある。したがって、選別システムの基本的な機能は「人為的に定めた基準に従って、非破壊で全数を検査し、その基準を超える青果物と基準以下のものに仕分ける」ことにある。しかし、「基準」は青果物の種類、品質を評価する指標のマーケティング面での重要度などにより多様であり、選別のための測定項目も当然品目別に異なる。その選別方法を大別すると、規格の大小基準に相当する重さや大きさに基づいて選別する「階級選別」と、品質基準に相当する外観、損傷、味等に基づいて選別する「等級選別」に分けられる。現在では対象とする青果物のマーケティング要因に対応して、これらの等階級要因を自由に組み合わせて選別方法を構成する「インテリジェント選別システム」の導入が可能となっている。ここでは最新の等階級同時選別システムとして注目を集めている「画像処理選別システム」と「光糖酸度・熟度センサー」を取り上げて、主にその計測法を概説する。

1) 画像処理選別機

1986年にはキュウリを対象にした白黒 CCD カメラによる画像処理選別機が実用化され、等階級

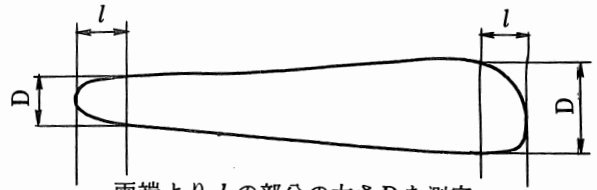
同時選別方式の先駆けとなった。図5にわが国で初めて学会で発表された画像処理選別機の構成図を示す。現在利用されている装置もハード面では基本的にこの構成と変わらないが、ソフトウェアの面では対象青果物の種類によって等階級判別要因が異なるため、これに対応する各種の解析アルゴリズムが開発されている。

図中の光学センサとして用いられるカメラは撮像素子の材料と構造によって撮像管型と固体撮像型に分類されるが、前者は後者に比べてカメラのサイズが大きく、さらに残像現象が生じ、寿命の面でも劣ることから、現在では後者のリニア型 CCD 固体撮像素子を内蔵したカメラが多く用いられている。搬送コンベヤ上のキュウリは白熱電球等で均一に照明され、背景（コンベヤ）から抽出したキュウリの2値画像データは画像位置の調整、画像強調、孤立ノイズ除去等の前処理の後、パターンメモリに2次元配列で書き込まれる。パターンメモリは複数用いられ、データの書き込みと呼び出しが計測回路からのメモリ切り替え信号により制御される。計測回路はマイクロプロセッサのコマンドを解釈し、パターンメモリを走査して画像外縁の座標を求めて中間パラメータとし、これをマイクロプロセッサに送る。さらに、計測システム各部の動作も制御する。マイクロプロセッサでは中間パラメータを解析することにより、等階級判定データを算出し、このデータは果実排



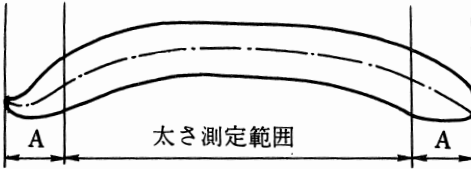
両端より 5 mm カットした中心線上を結ぶ直線の長さで表す

①長さ



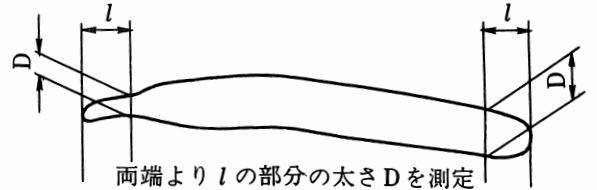
両端より l の部分の太さ D を測定し、設定値を超えたものは 1 等級格下げする

④尻太(首太)



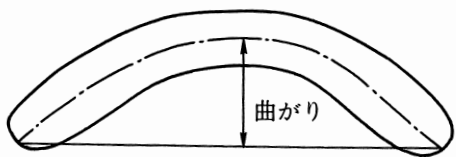
両端より A 寸法を除去した全長において、最大値および最小値の範囲で表す

②太さ



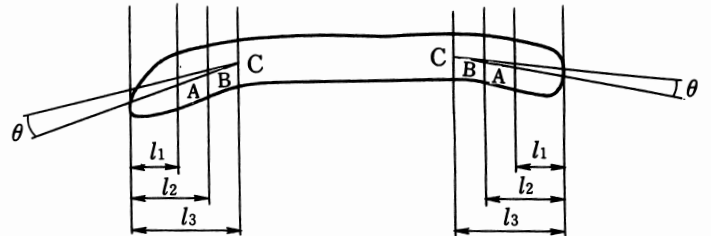
両端より l の部分の太さ D を測定し、設定値を超えたものは 1 等級格下げする

⑤つる首(尻細)



仮想中心線と両端を結ぶ直線との距離の最大値を曲がりとする

③曲がり



仮想中心線との交点で定まる直線 AB と直線 BC のなす角 θ をもって表す。設定値より大きな曲がり角のものは 1 等級格下げする

⑥首(鼻)曲がり

図 6 キュウリの選別アルゴリズム

出機構の駆動や精算事務に利用される。現在のところ、画像処理選別機の 1 時間当たり処理速度は約 1 万個であり、この速度は毎秒 3 個の処理速度に相当する。

キュウリの階級は長さで判別され、等級は他の 5 つのパラメータで決められる。その解析アルゴリズムの 1 例を図 6 に示した。実際の等級判定は、まず、長さにより階級を決定し、次に、それぞれの階級毎に設定した等級判定基準値と実測されたパラメータの値とを比較することにより「秀」「優」「良」の等級判定が行われる。その方法として、例えば、5 つのパラメータすべてが秀と判定された物だけが最終的に「秀」と判定され、また、4 つのパラメータが秀と判定されても、残り一つのパラメータが良と判定されれば、最終判定結果を「良」と判定する、いわゆる論理演算法で AND 方式と呼ばれる方法等が用いられている。

近年、白黒カメラの代わりに R.G.B. カラーカメラを光センサとして用い、青果物の形状に関する情報に表面色の情報を加味して画像処理を行い、等階級同時判別を行う「カラーグレーダ」が開発され、リンゴ、モモ、トマト等の共選施設に導入されてきた。その計測処理部の概念図を図 7 に示す。計測処理部はカメラ、照明装置と反射ミラー、中央処理装置、制御処理装置、モニタ TV で構成される。整列供給装置によって計測部に供給された果実の表面をハロゲンランプで均一に照明し、数枚の反射ミラーと 1 台の新しく開発された「高分解能 R.G.B. リニアイメージセンサカラーカメラ」を組み合わせるにより、果実表面のカラー画像を検出する。カメラの出力信号は中央演算装置に送られ、等級の判定要因として表面色(着色度、均一性、緑色比率)、障害(最大重障害面積、重障害比率、軽障害比率)、形状(変形度)

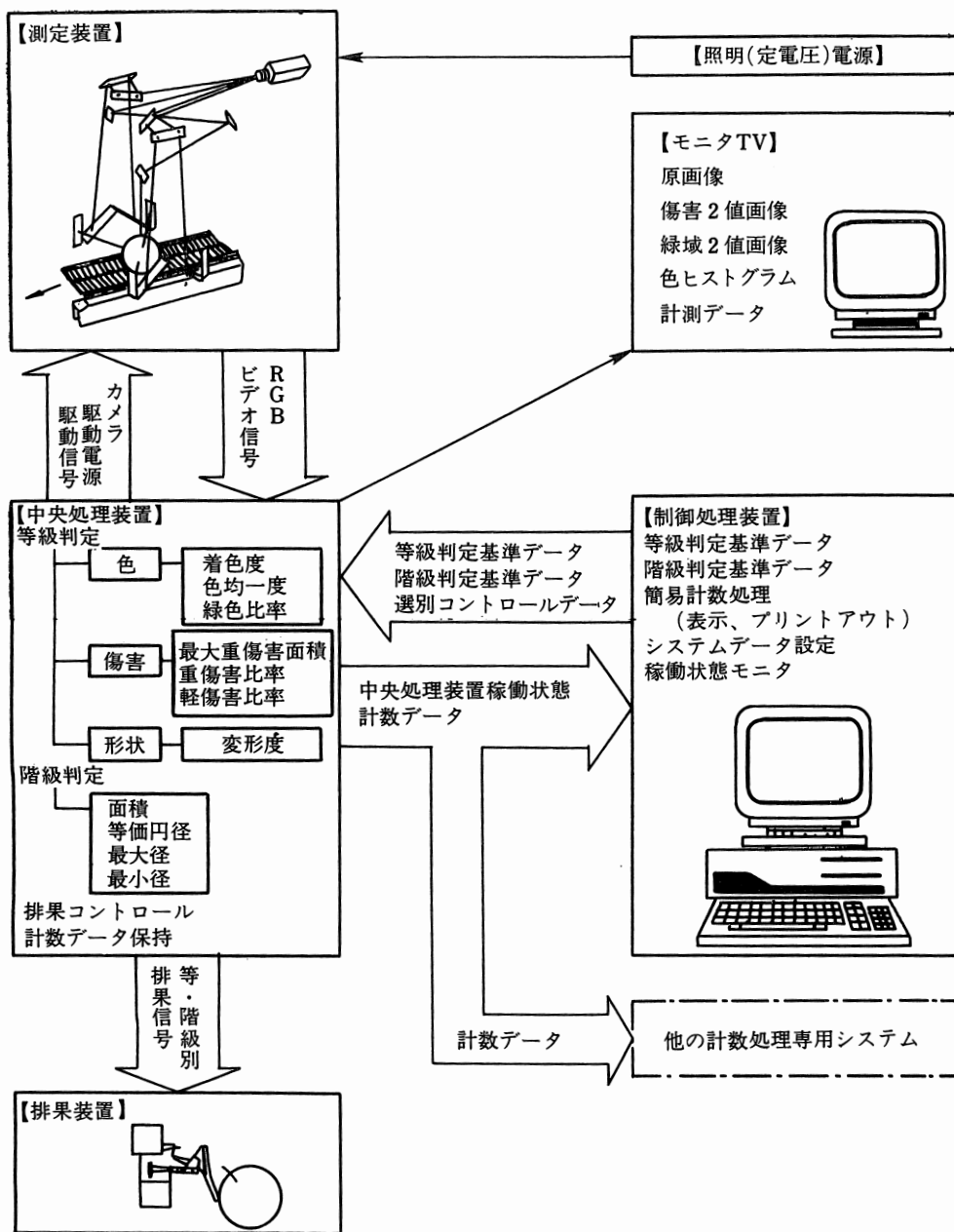


図7 カラーグレーダの画像計測システム⁷⁾

に関する情報に加工される。これらの等級判定要因のパラメータはすべての撮像面について1画素毎に色値を求め、色値とその画素数から作成したヒストグラムに基づいて計算される。また、階級の判定要因として表面積、等価円径、最大および最小径などが計算される。これらの情報は制御処理装置から送られる等階級判定基準データと比較され、最終的に等階級が判定される。判定結果は等階級別排果信号として排果装置に送られ、その排出ソレノイドを駆動する。中央処理装置の計数データは制御処理装置や他の計数処理専用システ

ムに送られ、精算事務処理等に利用される。

2) 光糖酸度・熟度センサ

落葉果実を対象とする共選施設では、1990年頃からカラーグレーダの計測部に「光糖度センサ」を設置し、果実の糖度を検出して、等級判別要因に加えるシステムが導入され始めた。この原理は、果実の近赤外吸収スペクトルもしくはこれの2次微分スペクトルの中から、果実の糖度と最も相関の高い波長を選び、その波長の吸光度と糖度の検量線を利用して果実の糖度を予測する方法、すなわち「近赤外分光法」に基づいている。

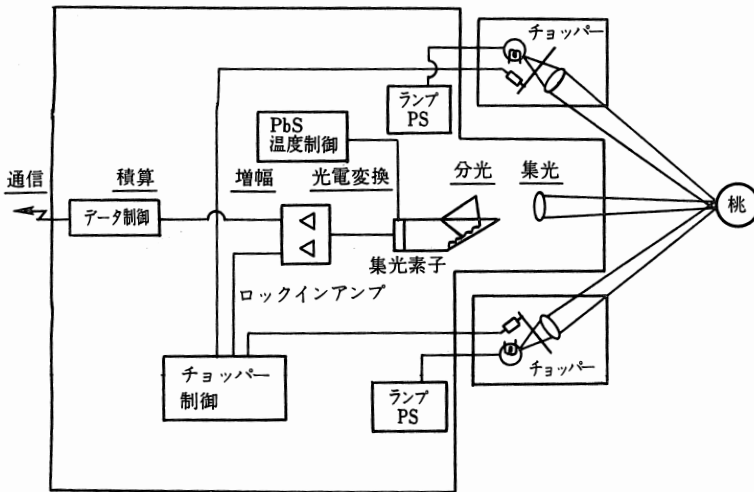


図8 光糖度センサの計測方式⁸⁾

図9 西洋ナシの追熟に伴う光反射スペクトルの変化⁹⁾

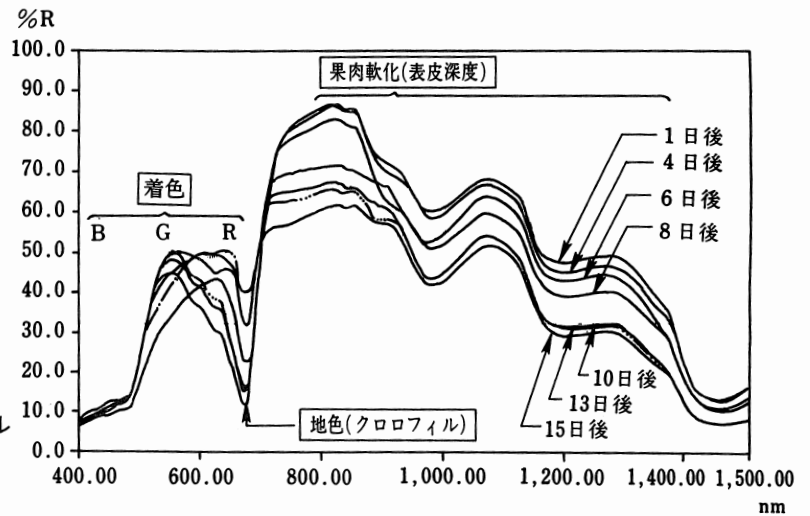


図8にその計測原理を説明するためのブロックダイアグラムを示す。まず、コンベア上の果実に光を照射して果実表面からの反射光をレンズで集光し、これを分光器にかけて所望の波長の近赤外線のみをとりだす。次に受光素子で電気信号に変換し、それぞれの波長の反射強度を求め、最後に別途実験から求めた数理モデルを用いて果実の糖度を算出する。この方式では果実の反射光を分光するので「後分光」方式と呼ばれ、あらかじめ分光した波長帯の光を照射する、「前分光」方式と区別されている。光の反射強度から糖度を算出するための検量線は対象とする果実の種類・熟度のばらつき程度、さらに、等級の設定等によって異なる。現在のところ、各選果場で異なる検量線が用いられ、これが販売戦略のデータとなって公表されていないために、このセンサの実用的精度を客観的に評価するのは困難である。しかし、すで

に導入した施設では生産農家との格付けに関するトラブルの解消に役立ち、また、「糖度センサ」が商品差別化の手段として市場で認知されることを期待しているようである。

最近、温州ミカン等に照射した光の透過光強度を測定して、果実の酸度を計測する「酸度センサ」が開発されて注目を集めている。また、糖酸度センサと同様に「熟度センサ」が一部の施設で導入され始めている。しかし、果実の熟度を定義する要因はメーカーによって異なり、それが公表されていないために、このセンサの実態は必ずしも明らかにされていない。ここでは、果実の熟度を表す物理的指標として表皮のクロロフィル含量と果実の硬度を電磁波の吸収度と相関させて検出し、これらを組み合わせて1つの熟度指標としている方式について述べる。

図9は西洋ナシ(品種:ル・レクチュエ)の貯蔵

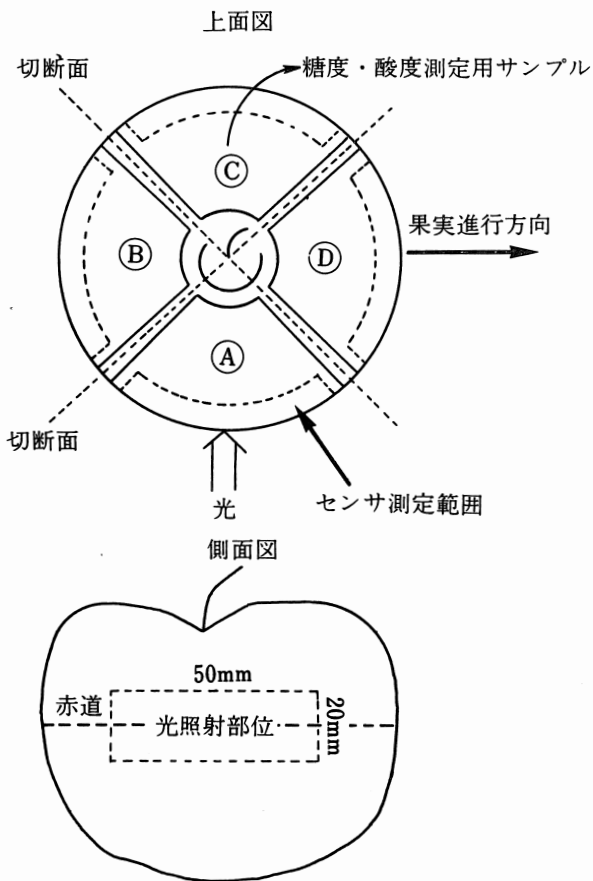


図10 糖度センサの光照射部位と果実分割法

中における電磁波の反射特性の経日変化を示す。波長帯400~700 nm の範囲からは果実表面色の情報が得られ、特に680 nm 付近はクロロフィルの吸収波長であり、果実表面の着色度を表す情報として利用される。果実硬度の変化は800 nm 近傍の波長を採用することにより検出可能と考えられる。電磁波の反射特性は果実の種類・品種により変化するので、実際にはそれぞれの果実・品種を対象として、ここに示したような反射特性を計測し、検出しようとする熟度パラメータの検出が可能なる波長を選択してパラメータを数量化し、これを演算処理することにより熟度指標を算出する方法が採られている。計測システムは図8に示した糖度センサの場合と基本的に同様と考えられる。

7. システムの感性工学的評価

(1) クレームの発生

これまでに述べたように食品や青果物を対象としたセンシング・評価技術の進歩は急速であり、

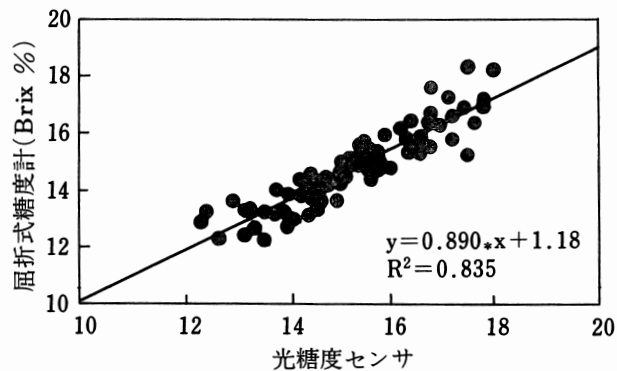


図11 光糖度センサと屈折式糖度計による実測値の相関

メーカー間の新技術開発競争は激化の一途をたどっている。一方、利用者側では「差別化商品」を開発するためのツールとして、新技術を先取りする形での各種システムの導入が進められている状況にある。しかし、これらの新技術、特に味覚や匂いに関する計測・判別方式は必ずしも明らかにされておらず、また測定精度に関する客観的な評価も確立されていない現状にある。例えば米の食味計では成分表示、すなわち近赤外分光法による測定結果の表示についてはメーカー間に大きな差が見られないが、最終的な「食味値」については差異が指摘され、これの取り扱いが問題となっている。また、青果物の糖度センサを導入した施設の中には、判別結果に対する生産農家からのクレームのために、このセンサの利用を見合わせているところもある。このため、これらシステムの実用面における客観的評価が緊急な課題となってきた。

(2) 性能評価の事例

筆者らは糖度センサの性能評価に関する研究の一環として、リンゴ（品種：サンふじ）を対象として、リンゴの長期貯蔵施設に付設されている光糖度判別ラインを利用して、貯蔵前後のリンゴの糖度を実測し、その結果を屈折糖度計で測定した結果と比較することにより、光糖度センサの測定精度を評価した。

図10に光糖度センサの光照射部位と果汁採取のための果実分割法を示す。すなわち、この図に示すように、果実の赤道4カ所の部位に光を照射し、

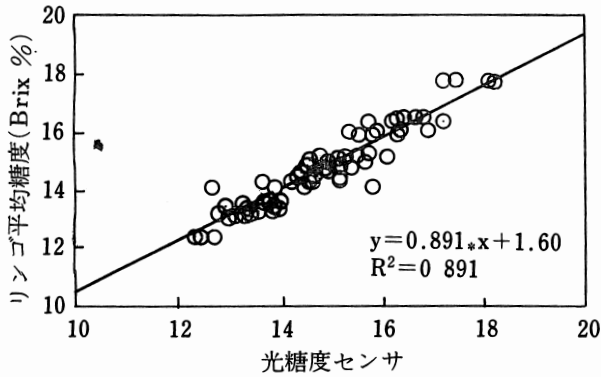


図12 果実平均糖度に対する光センサの測定値変動

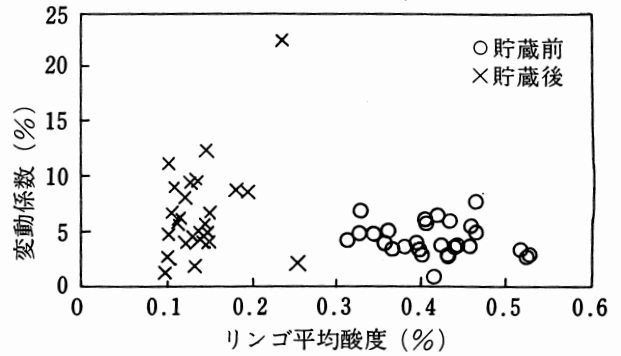


図13 果実平均酸度に対する変動係数のプロット

それぞれの部位の糖度データを求めた。図11に両者の相関を、また図12には屈折糖度計で測定した糖度の平均値に対して光センサで測定した4カ所の実測データをプロットして示した。図11に示されるように、光糖度センサと屈折糖度計の実測値には高い相関が示され、光センサは実用的な範囲で高い精度を有していることが分かった。この精度はメーカーの違いや後分光・前分光の方式差によらずほぼ一定であることも判明している。一方、図12に示されるように1個の果実内部に1%以上の糖度分布が検出される場合もあり、果実内部の糖度分布が著しく大きい果実を対象とする場合には、果実の平均糖度をどのように検出するかが問題となることが予測された。このため、糖度分布が大きいモモなどでは光を照射する果実表面の位置を特定し、複数箇所の測定データの平均値を採用するなど、両者の相関を高めるための計測手法を開発する必要があると考えられた。

図13は果実を約3カ月冷蔵した前後における果実平均酸度に対する実測値との偏差を変動係数としてプロットして示したものである。酸度は貯蔵後に約0.3%低下し、また果実内部に酸度の分布も存在し、貯蔵後にその分布幅が拡大することが分かった。ここには示していないが、貯蔵前後の糖度の変動は顕著でなく、むしろ均一化する傾向を示した。

聞き取り調査によると、リンゴ生産農家の光糖度センサに対するクレームは貯蔵後の測定結果に対してなされたことが判明した。前項に述べた測定結果を考慮すると、貯蔵後の果実の糖度測定値は高いものの、酸度が低下することにより、実際

の味は「ボケ」たように感じられ、また、貯蔵後の果実内酸度分布の拡大により、食味した部位による味の差が混乱を招き、光糖度センサによる選別結果にクレームがついたものと推察された。

一般に、「人の感覚量」と「呈味物質の濃度の対数」は比例関係にあり、また、果実の食味は酸度に対する糖度の比、すなわち、甘味比によって比較的良好に表されることが知られている。従って、「食味」に基づいてなされた光糖度センサのクレームに対しては「光糖度センサはヒトが感じる味を測定するのではなく、単に果実の糖度のみを保障する」センサであることを明確に説明する必要があると考えられた。さらに、リンゴや柑橘類のような甘味比が評価の要因となる果実類の選別には、糖度センサと最近開発された酸度センサの併用が望ましいと考えられた。

このように、新技術の中には「米の食味値」や「果実の糖度センサ」の導入状況に見られるように、技術の評価があいまいな状態であっても、技術先取り競争によって導入・利用が先行してしまい、メーカーと利用者間で仕様・性能上の問題点が浮上している場合もある。このため、これら新技術の客観的評価が緊急の課題となっている。さらに、光糖度センサの性能評価の節で示したように、青果物の食味は糖度や酸度のみならず、テクスチャや風味に依存し、さらに温度により変化することが知られている。従って、センサの開発は精度よりもマルチセンシングを重視する方向が望ましいと考えられる。一方、食品感性工学構築の面からはマルチセンシングで得られた出力を「人の感性のスケール」に変換するための手法の

開発が急務とされている。

8. 食品感性工学の課題と展望

これまでに述べた「食品感性工学」は学術的にまったく新しい分野であり、その領域も広く認知されているわけではない。また、技術的にも完成されていない未知の分野を多く含んでいる。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明らかである。さらに、現存する技術レベルではとうてい到達不可能な課題であることも明白な事実として認識される。そこで、本稿では嗜好関連技術の現状を概観することよりも、この分野の将来を見越した学問・技術のあるべき姿を「夢として」思い切って大胆に描いてみることに重点を置いた。

その結果がここに提唱した「食品感性工学」の領域であり、その特色はセンサ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。このように「感性」は生活のアメニティーと密接不可分の関係にあり、近い将来に学問的にも産業的にも急速な発展が予測される。食品感性工学の発展は食品科学、情報科学、システム工学、機械・電子工学、心理学、生理学などの分野の研究者の相互啓発と共同研究により促進されるものと期待されている。

主要参考文献

- 1) 相良泰行：日本食品工業学会誌、41 (6), 456 (1994)
- 2) A. W. Logue 著、木村定訳：食の心理学、青土社 (1994)
- 3) 保坂幸男：機器分析による味覚の予測、日本食糧新聞社 (1992)
- 4) 都甲 潔：味覚センサ、p. 155、朝倉書店 (1993)
- 5) 松野 玄他：計測自動制御学会講演要旨集、No. DS61-2 (1992)
- 6) 稲葉文夫：計測と制御、32 (915) (1993)
- 7) 前田 弘：青果物の選別包装施設におけるメカトロニクス化に関する研究、東京大学博士論文(1991)
- 8) 岡部政之：アグリビジネス、4 (14), p. 65 (1989)
- 9) 木村美紀夫：近赤外線分析法による果実の非破壊品質評価について、p. 13、JA 全農施設・資材部 (1993)

特許 自動充填機 特許 足踏式充填



3倍の高性能ロータリー充填!!
特許 ジャム・マヨネーズ・糖液・海苔・佃煮・食用油・スープの素・アイスクリームその他各種・練物全般をポリ袋・チューブ・瓶・罐等へ一定量正確に高速充填する!!

自動充填一貫ラインのエンジニアリング

資料贈呈

株式会社 根岸製作所 〒170 東京都豊島区東池袋4-37-3
☎(03)3986-1661(代) FAX(03)3986-1663

