

**食品感性工学のパラダイムと食嗜好センシング技術の動向**  
**Paradigm of Food *Kansei* Engineering and Trends in**  
**Sensing Technologies for Food Preferences**

**相良 泰行**

Yasuyuki Sagara

東京大学大学院農学生命科学研究科

Graduate School of Agricultural and  
Life Sciences, University of Tokyo



# 食品感性工学のパラダイムと食嗜好センシング技術の動向

相良 泰行

Yasuyuki Sagara

東京大学大学院農学生命科学研究科農学国際専攻  
東京都文京区弥生1-1-1

Department of Global Agricultural Sciences, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, University of Tokyo  
1-1-1, Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

## Summary

"Food Kansei Engineering" has been proposed as a new academic research field. Since the Japanese word "kansei" has multiple interpretations, including , there is no exact equivalent in European languages. Thus in this paper it is briefly defined as: 1) sensing abilities of sensory organs which involve perception in response to external stimuli; 2) dynamics of emotions elicited by senses; and 3) sensory desires that are considered to be controlled by reason and the mind. Thus kansei can be proposed for adoption into the English language. In Japan, Kansei has become a keyword in research by professional societies in various fields.

Recently, a number of attempts are being made to take into consideration the kansei of human beings in designing and producing not only food, but also musical instruments and cars. Since kansei bears a close relation to lifestyle and amenities, we can expect rapid growth in this area, in both academic and industrial terms. Concerning kansei related to food, measures are needed to grade food preference and dislikes. Thus it is desirable to develop a system for scientific assessment and quantitation that has high reproducibility and objectivity. This should provide innovative stimuli to new food development, product management and marketing strategies in the food industry. In order to construct such a system, the physicochemical attributes of a food must be related to psychological factors regarding eating habits. The

former include the appearance, taste, flavor, texture, temperature, and the sounds generated when being consumed. We should clarify the interrelations between such physical attributes and psychological factors, and thus finally quantify the kansei of human beings towards foods. Quantification of food preference is considered difficult, and while various sensory evaluation methods have been applied to psychological reactions, the results have frequently lacked reproducibility and credibility, and the methodology needs further subjective judgment after appropriate investigation.

Non-destructive measurement and evaluation technologies for foods and human preferences are desirable for R&D in food kansei engineering. Since electromagnetic waves are recognized to provide an ideal information-transforming medium, they are widely used in visual sensing technologies. In sorting fresh fruits and vegetables, a typical optical sensing system is the Color GraderZÓ based on the combination of CCD color camera and image processing technologies. Optical sugar and acid content sensors for fruits are also used in packaging houses. With these, NIR spectroscopy is applied to select the wavelengths best correlating with the absorption or secondary differential spectra of the fruits. For example, the wavelengths at 874nm and 902nm were found to be useful to predict the sugar content of melons. Furthermore, change in hardness of fruits seems to be detectable with reference to wavelengths around 800nm.

other words, aspects of studies that can be quickly utilized. In closing, I wish to express my gratitude to the scientists who generously contributed articles despite their busy schedules and the

editorial committee for their patience and strenuous efforts to ensure the success of this special publication.

新しい世紀を迎えたばかりの我が国の食品産業には、前世紀とは異なる企業哲学と革新的アイデアに基づく技術開発、さらには社会システムへの貢献が求められるものと予測される。これから約10年経過するといわれる団塊の世代が65歳のラインを越し始める。また、この世代以降は消費者として飽食の時代を過ごし、そのライフスタイルは食生活も含めて西欧化の一途をたどってきた。高齢化社会における健康食や介護食のデリバリシステムの確立は、社会的にも経済的にも緊急な課題としてクローズアップされてきた。他方、飽食を経験してきた消費者は、さらに生活のアメニティー追求のターゲットとして、「食」へのあくなき変化を要求し続けるものと考えられる。いずれにせよ消費者の欲求にフィットする食品生産が求められることになる。そこでは消費者が感じる「おいしさ」を科学的に定量化する方法・技術・システムに関する感性工学の展開が有力視されている。

近年、アメニティーの創造に人の感性を取り入れようとする試みが始められ、また、心理学や病理学に関連する分野でも「感性」をキーワードとする研究成果や著書が出版されるようになってきた。しかし、これらの研究活動はそれぞれの分野で培われてきた独自の手法や発想の域に留まっている現状にある。これを打破し、さらに実用的な分野でブレークスルーをもたらすためには、従来の専門分野にとらわれない自由な発想が必要とされよう。そもそも、人の「感性」を細分化された一つの学問分野の方法論で究明することは困難であり、ましてや感性に関する研究成果を我々の生活のレベルへと展開してゆくことは極めて困難と言わざるを得ない。それにもかかわらず、我々の生活のレベルでは「感性」がアメニティーと密接不可分の関係にあるため、感性の評価に基づくアメニティー製品の設計・開発やマーケティングなどは、次世紀に向けて学問的にも産業的にも急速な発展が見込まれている。

本特集を企画した目的は、「食」にまつわる人の心の動態を多方面から解明しながら、その成果を新食品の創造やマーケティングの戦略にも導入してゆく新しい学術研究の体系、すなわち「食品感性工学」を具体的に提唱す

ることにある。そのスキームの中には、食情報の感性計測と評価法の先端技術、食嗜好の発現に関する生理・栄養学的知見、食情報処理プロセスの脳内機序の解明とそのモデリングおよび官能評価やプロダクトマネージメントなどのテーマを含めることが必須要件として浮かび上がってきた。そこで、これらの分野に於いて、第一線で活躍されている研究者の方々に、本特集への寄稿を依頼しました。

このように「食品感性工学」の領域には基礎科学から経営工学に至る広大で多様な分野が含まれるが、本企画ではそれらの実践的テクノロジーとして、すなわち役立つ学問としての色彩を強く打ち出すことに努めました。おわりに、本特集号出版の理念に賛同され、超多忙の中で時間を割いていただいた執筆者の方々、さらには辛抱強く刊行への労を重ねられた編集委員会の方々に深く感謝申し上げます。

## PROFILE

### 相良 泰行

東京大学大学院農学生命科学研究科農学国際専攻  
助教授  
農学博士

1972年東京大学大学院農学研究科農業工学専攻博士課程中退、同農学部助手に採用、1985年同講師に昇任、1997年同大学院農学生命科学研究科農学国際専攻助教授昇任、現在に至る。



Identification of these wavelengths thus allows non-destructive measurement of sugar content, acidity and hardness, according to reflected and penetrating rays.

A Micro-Slicer image processing system (MSIPS) has been developed for measuring the three-dimensional (3-D) internal structure of foods and biological materials and used to assess the structure and distribution of ice crystals formed in frozen foods. It has functions to reconstruct 3-D images based on image data for exposed cross-sections obtained by multi-slicing of a frozen sample with the minimum thickness of  $1\ \mu\text{m}$  and display the internal structure as well as arbitrary cross-sections by choosing observation angles. The size and distribution of ice crystals can be determined from the 2-dimensional quantitative information such as the periphery and area of the crystals. The effects of freezing conditions on the morphology and distribution of ice crystals can thus be demonstrated quantitatively, for example from observations of raw beef stained with a fluorescent indicator.

The ZÓRice Taste MeterZÓ evaluates the content of taste-determining constituents such as moisture, amylase, and fatty acids, as well as proteins, by NIR spectrometry and displays scores of sensory evaluation. An artificial neural network has been successfully used to predict taste scores from these parameters. This system is innovative in allowing prediction of a taste index of cooked rice, by analyzing the constituents of uncooked grains. A multi-channel taste sensor using lipid/polymer membranes, which mimic living organisms, has been applied to make the taste maps of beer, coffee, tea and sake, showing superior capacity for distinction, reliability and sensitivity compared with humans. An odor sensor has been developed using a quartz oscillator coated with an artificial lipid membrane which works as an ultra-precise microbalance and

detects frequency change caused by odorant absorption. An electric resistance odor sensor simultaneously measures electric resistances of many belt-shaped high polymer membranes, and cluster analysis is carried out on changes in resistance with elapsed time in order to discriminate odors. Order change in Camembert cheese during the ripening process can be monitored with this sensor.

The olfactory-induced electroencephalogram (EEG) and magneto encephalography (MEG) allow assessment of brain activities in response to odors such as that of amyl acetate which has the fragrance of banana. In these measurements the dipole tracing method was applied to specify the source of signals. As a result, it was revealed that olfactory center parts are located in the two fissures on both sides of the frontal lobe orbital area.

Concerning the development of such technical evaluation methods, and the quantification approaches developed in the field of sensory evaluation and marketing, it is clearly not impossible to evaluate food preference and to establish an academic field that can support product development and marketing strategies. The basic concept of food kansei engineering is 'kansei modeling' of food-related information and its use by product management. The connotations are food-related information sensing, elucidation of physiological reaction mechanisms, transformation of measured data into kansei information, modeling of evaluations, judgment of preference formation, and development and design of new products in the application field. Kansei food engineeringZÓ, for systematic integration of processes from sensing technologies to product management as well as marketing strategies, can be expected to rapidly develop as a new research field.

## 1. はじめに

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。食品の「おいしさ」や食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属性と「食」にまつわ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」を定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。

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。「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」<sup>1)</sup>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」<sup>2)</sup>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<sup>3,4)</sup>や匂いのセンサー<sup>5)</sup>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<sup>6)</sup>、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<sup>7-11)</sup>。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知情報への変換、食にまつわる評価・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に基づく新製品の開発・設計および販売戦略などが含まれる。

## 2. おいしさに関連するファクター

### 2-1. 外観

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」「食味」「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。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、我々は先ず、対象物がリンゴであること、す

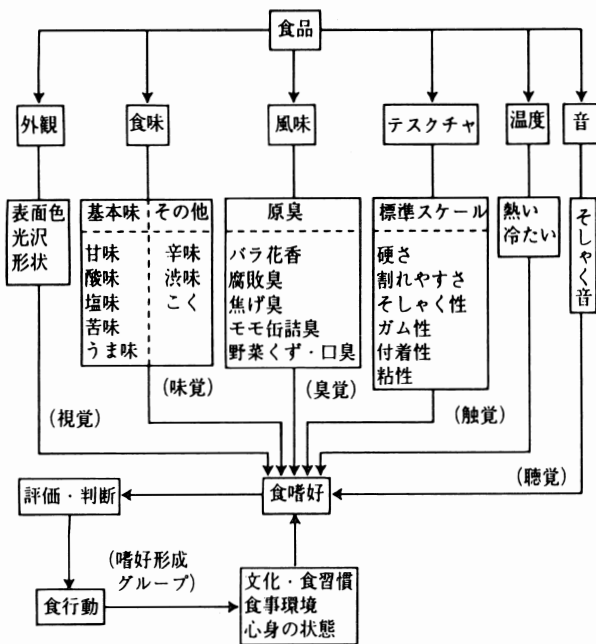


図1. 食嗜好の多層構造と食行動

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。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・学習させるトリガーとしての重要な役目を果たしていることになる。

## 2-2. 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、食味は「甘味」「酸味」「塩味」「苦味」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<sup>12)</sup>。しかし、実在する多様な食味の全てがこの空間内で特定され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。ただし、基本味を頂点とする多次元空間座標で食味を表現するアイデアは味を定量化する手法として正当性を失っていない。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、ビールのコマージュ

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。

## 2-3. 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。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いえる。したがって、「基本味」に相当する「基本風味」、すなわち「原臭」を特定する事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一例であるが、この他にも別の研究者が提唱した7つの原臭が知られている<sup>13)</sup>。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「モモ缶詰臭」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」の一種と考えられている「発酵臭」は好まれる場合も多く、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・個人的な好み依存する度合いが大きいと考えられる。

## 2-4. 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そしゃく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。

## 2-5. 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℃といわれ、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。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う、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、通常我々は口腔内で発生するこれらの多種類の音を聞いている。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。

## 2-6. 嗜好形成ループ

特定の食品に対する人の嗜好形成は、先ず前項までに述べたような食品が保有している物理化学的属性を「五感」により感知する事に始まる。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「おいしさの程度」として総合的に評価され、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。筆者はこのパターンを「嗜好形成ループ」と名付けている。

# 3. 食品感性工学の構築

## 3-1. 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の計測・評価技術に各種の数理モデルを加えてシステム化したものである。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事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」などがこれに相当する。



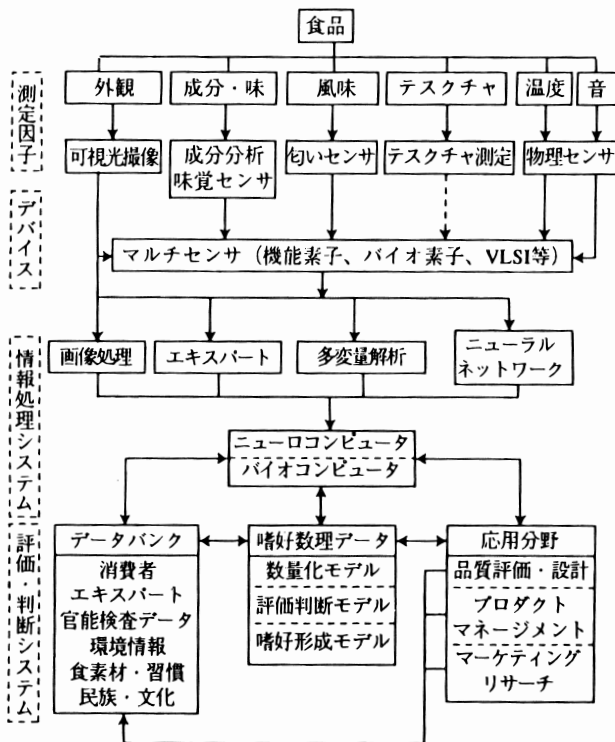


図2. 食嗜好の計測システムと食品感性工学の領域

### 3-2. 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・味覚などの評価に用いられている手法である。現在のところ、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、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になるものと期待されている。

### 3-3. 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データと人の嗜好と食行動、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2つのコンピュータの実現が待たれる。

### 3-4. 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定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を評価し、さらに食行動や新製品に対する消費傾向などを予測・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。データバンクの中には、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・文化に関する情報などが含まれ、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る。

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。

## 4. 食品感性工学の展望

これまでに述べた「食品感性工学」は学術的に全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、おい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。

そこでは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嗜好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、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。

他方、米国の大学院ではビジネススクールのなか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。このように、食品感性工学は学

際的研究分野として特徴づけられ、その発展は官能評価技術をはじめとし、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。

## 5. 感性計測・評価技術の動向

### 5-1. 視覚センサ～光センシングと画像処理～

脊椎動物の視覚を司る器官の中で、外界の光情報を検知して神経の電気信号に変換している器官は「眼」であり、ヒトの場合には外界情報の80%以上を眼によって取得していると言われている。また、ヒトの眼は真夏の晴天時における太陽光から暗闇の中の光子1個までの光強度範囲に応答できると言われており、工学的には超高感度のいわゆる「スーパーセンサー」の典型例である。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。これらのシステムの中には、対象物の品質を客観的に評価するという機能の面において、ヒトの視覚による判断能力を凌駕する技術も含まれている<sup>19)</sup>。

食品の形や色に関するセンシング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。次に、画像処理に基づく先端技術の動向について述べる。

#### 5-1-1. 青果物選別システム～カラーグレーダー～<sup>2)</sup>

青果物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。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、味などに基づいて選別する「等級選別」に分けられる。近年、カラーカメラを光センサーとして用い、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う「カラーグレーダー」が

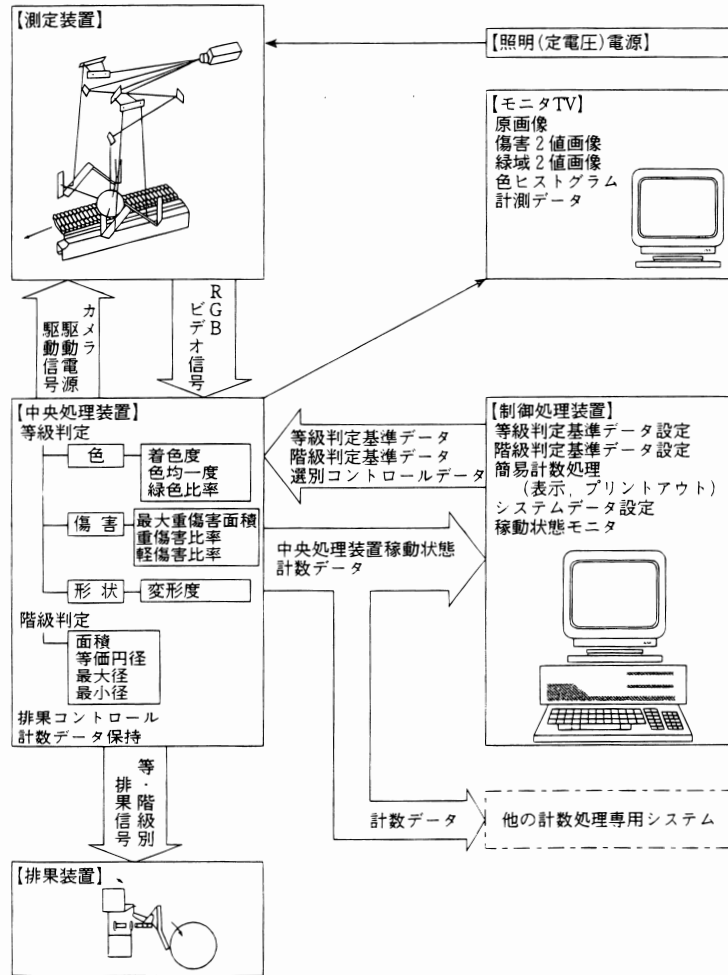


図3. カラーグレーダーの画像計測制御システム

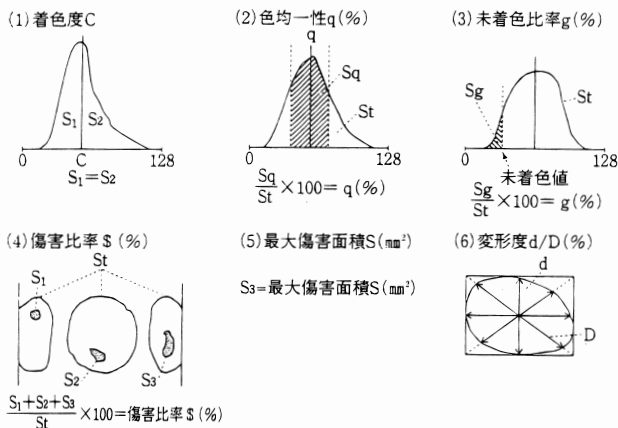


図4. カラーグレーダーの等級判定アルゴリズム

表1. カラーグレーダーによる等階級判定のアルゴリズム

選別パラメータ	記号	アルゴリズムの説明
1) 着色度	C	128階調で求めた色値ヒストグラムの中心値
2) 色均一性	q	色値(C)を中心にして指定した色幅内にある画素数の総画素数に対する割合
3) 未着色比率	g	指定した色値より緑側にある画素数の総画素数に対する割合
4) 障害比率	\$	抽出した障害画素数の総画素数に対する割合
5) 最大障害面積	S	連続した傷で構成される最大集合画素の面積
6) 変形度	d/D	最大径Dに対する最小径dの比率(柑橘類を除く)

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3に示す。このシステムの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。

計測部に供給された果実の表面を均一に照明し、数枚の反射ミラーと1台の「高分解能 R. G. B. リニアイメージセンサーカラーカメラ」を組み合わせることにより、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

中央処理装置に送られ、等級の判定要因として表面色、傷害および形状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全ての撮像画について一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。その一例として、図4に128階調で求めた色値ヒストグラムに基づく色・傷害・形状に関するアルゴリズムを図示し、その内容を表1に示す。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級判定基準データと比較され、最終的に等級が判定される。判定結果は等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。

最近、柑橘類およびスイカのカラーグレーダーでは複数のカメラを果実搬送コンベア周囲に設置し、果実を機械的に反転させながら果実の全表面画像を撮像するシステムが導入され、その処理速度は柑橘類で毎秒約7個に達している。また、このようなシステムは甘藷などの複雑な形状を有する農産物や花卉にも適用され、それぞれ複雑な等級選別アルゴリズムが用いられている。

### 5-1-2. マイクロスライサ画像処理システム

このシステムは東京大学工学系研究科の樋口俊郎教授のグループにより開発され、現在では同大学インテリジェントモデリングラボラトリーの「3次元バイオ構造モデリングプロジェクト」において公開利用が可能となっている。その特徴は、新しく開発した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、得られた2次元画像をコンピュータ上で3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3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5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レンズを組み合わせて撮像する。切削速度は90rpmで最小切削厚さは $1.0\mu\text{m}$ である。撮像した画像は追

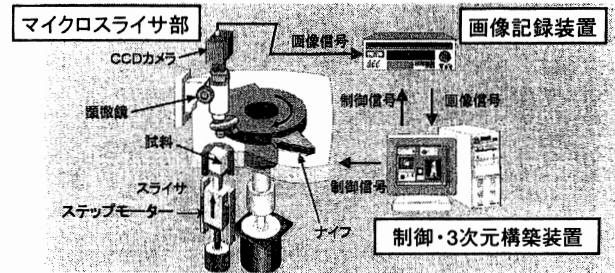


図5. マイクロスライサ画像処理システム

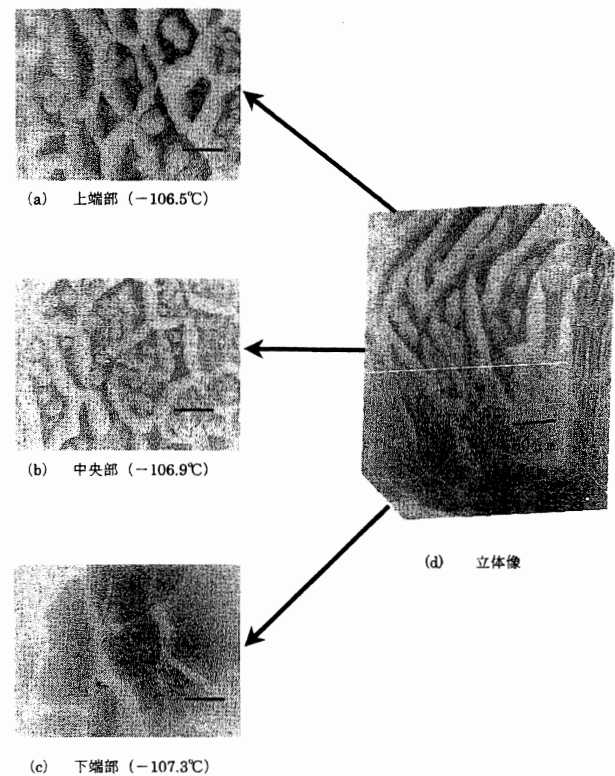


図6. 凍結牛肉試料の氷結晶断面および立体像  
(凍結温度;  $-120^{\circ}\text{C}$ )

記型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3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6に牛肉を $-120^{\circ}\text{C}$ 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。また、このシステムは人の視覚では不可能な材料内部の微細な3次元構造を自由に観察でき

る機能を持っていることになり、視覚に関する先端計測技術は、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。

## 5-2. 味覚センサー～近赤外分光法とバイオセンサー～

### 5-2-1. 青果物の光糖酸度センサー<sup>2)</sup>

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ーの計測部に「光糖酸度センサー」を設置し、果実の糖度や酸度を非破壊的に測定して、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、果実の近赤外線に対する吸収スペクトルもしくはこの2次微分スペクトルの中から、果肉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糖および酸度を予測する方法、すなわち「近赤外分光法」に基づいている。この原理を説明するために、西洋ナシ（品種：ル・レクチェ）の貯蔵中における電磁波の反射スペクトルの経日変化を図7に示す。可視光線に相当する波長帯400～700nmの範囲からは果実表面色の情報が得られる。特に680nm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。近

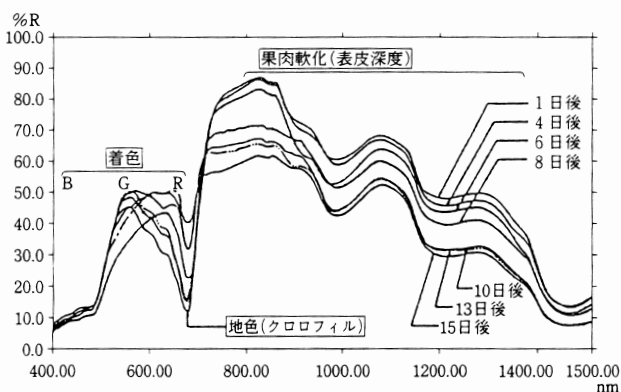


図7. 西洋ナシ（ル・レクチェ）の熟度変化と光反射スペクトル

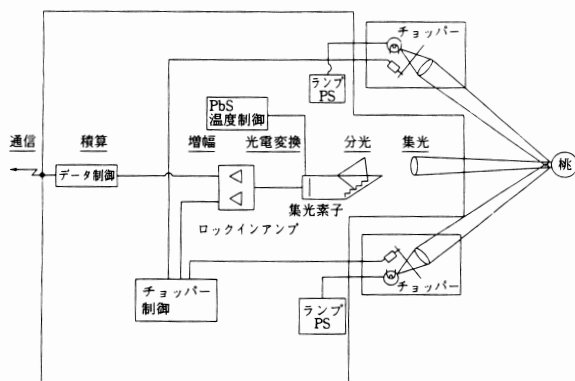


図8. 光糖度センサの計測方式

赤外線の領域は700～2500nmであり、糖度との相関の高い波長は900nm前後に存在することが知られている。ちなみに筆者らの研究によれば、メロンの糖度を予測するのに適した波長は874および902nmである。さらに、果実硬度の変化は800nm近傍の波長により検出可能と考えられる。これらの波長が特定されると、果実の反射光や透過光の強度に基づき、糖度・酸度・硬さなどの非破壊測定が可能となる。その一例として、この方法を利用して実用化された糖度センサーの計測システムを図8に示す。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選択する。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検量線を用いて果実の糖度を算出する。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、果実の糖・酸度を同時に計測する「光糖酸度センサー」が実用化されている。さらに、「熟度センサー」も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、このセンサーの実態は必ずしも明らかにされていない。筆者らは果実の熟度を表す物理的指標として、糖酸度に加えて表皮のクロロフィル含量と果実の硬度を検出し、これらを組み合わせて一つの熟度指標を算出する方式の開発を進めている。

### 5-2-2. インテリジェント選別システム

等級選別要因のなかでも、果実内部の品質を判別する自動計測技術の出現は、選別機の開発当初からの長年の夢であったが、現在では「内部構造」に関してスイカの打音または密度計測による内部空洞果の判別が可能となっている。また、ここに述べたように光センシングの分野では近赤外線の反射または透過スペクトルの分析による糖度・酸度・熟度センサーなどが開発され、選別ラインへ実装されている。現在では、対象青果物の「重量」「形状」「外観」「内部品質」などの判別要因を対象品目の特性と重要度に応じて選択し、それらの判別要因を自由に組み合わせて自動的かつ総合的に判断する選別システムを構築し、等階級の同時選別を行う方式、すなわち「インテリジェント選別システム」の利用が可能となっている。

### 5-2-3. 米の食味計

近赤外分光法を応用した味覚センシングの例として、



「米の食味計」を採りあげ、その技術レベルを紹介する。図9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ために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10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

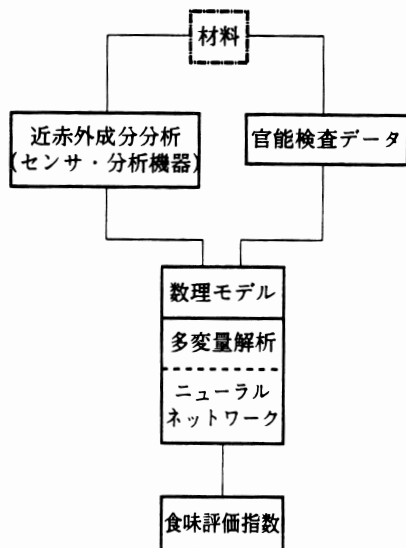


図9. 米の食味計測・評価システム

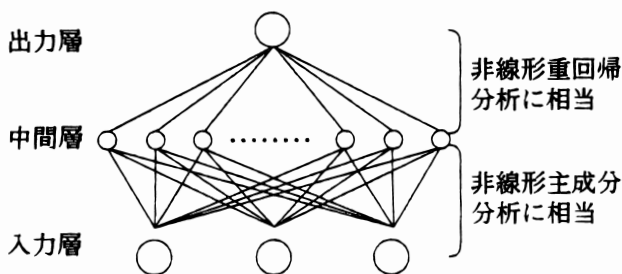


図10. ニューラルネットワークと非線形多変量解析

味を、計測された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。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信頼性が官能評価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、結果的には成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現状にも示されている。これらの問題点を解決するためにさらに複雑な構造と計算のアルゴリズムを必要とする「ファジーニューラルネットワーク (FNN)」や「遺伝的アルゴリズム」などを用いてコーヒーや吟醸酒の品質評価を試みた研究例が報告されている。

#### 5-2-4. 味覚センサー

このセンサーの測定原理はバイオセンサーのアイデアに基づいている。バイオセンサーは生物由来の機能性膜で測定対象を識別して電気信号に変換する機能を持ったデバイスであり、その機能は分子識別部と信号変換部を組み合わせることにより実現されている。このセンサーの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11に示す<sup>3)</sup>。

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、脂質膜裏面に接着した白金などの金属電極電位を検出する。したがって、この種の化学センサーを開発するためには、測定対象物質に敏感に反応して高い電位を発生する脂質を選択し、これを混入させた人工脂質膜の形成方法を確立する必要がある。そこで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。このようにして製品化された脂質膜電極の構造を図12に示す。この電極はポリ塩化ビニルの中空棒にKCL溶液と銀・塩化銀線を導入し、その断面に人工脂質膜を張り付けたものである。通常、脂質の異なる8つの人工脂質膜電極または高分子膜電極が準備され、マルチチャンネルによる同時計測を可能としている。

図13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<sup>3)</sup>。図中のPC1軸はビールの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）さ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利用されている。特に、従来の官能評価法に比べ計測による客観的な数量データに基づく感性情報の検討を可能としている点は高く評価される。また、従来のセンサーの大部分は高度の選択性を追求する方向で開発が進められてきたが、味覚センサーはマルチチャンネル化により広域選択性をも併せ持つことになった。このことは我々が味覚で識別している「味」そのものを計測可能としていることを意味しており、いわゆる感性計測を実現しているといえる。

### 5-3. 匂いセンサー

食品の匂いは多成分で構成され、ヒト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、このようなヒトの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。それらの中には、図14に示すように、いくつかの金属半導体や高分子膜を用いる「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。

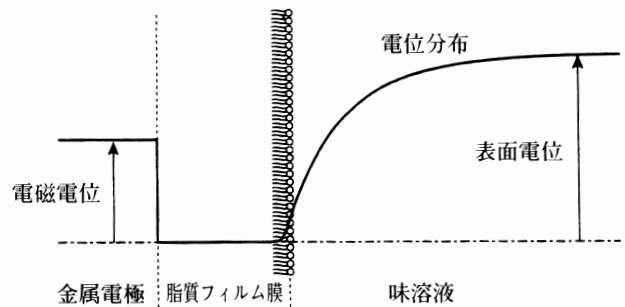


図11. 水溶液中における脂質膜近傍の電位プロフィール

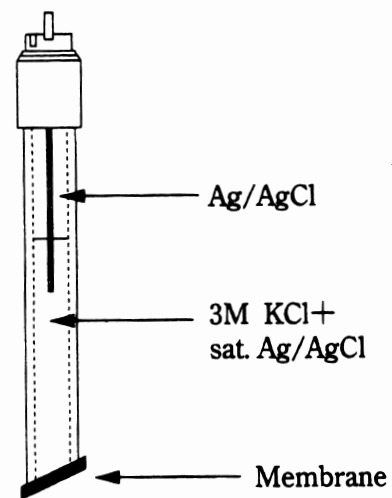


図12. 脂質膜電極

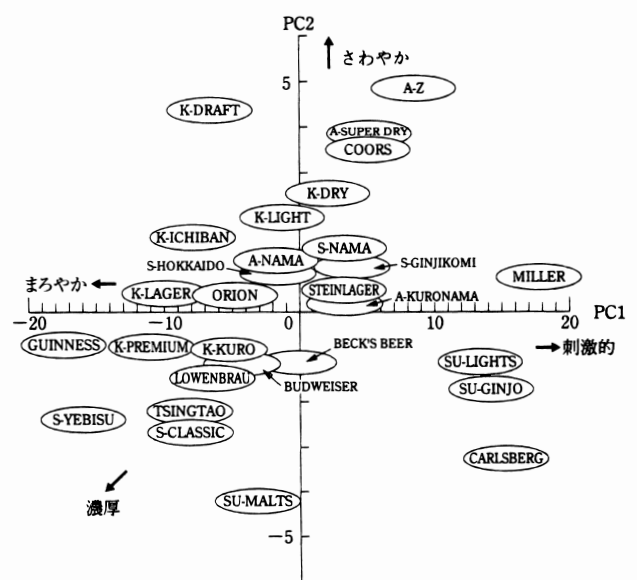


図13. ビールのテイストマップ

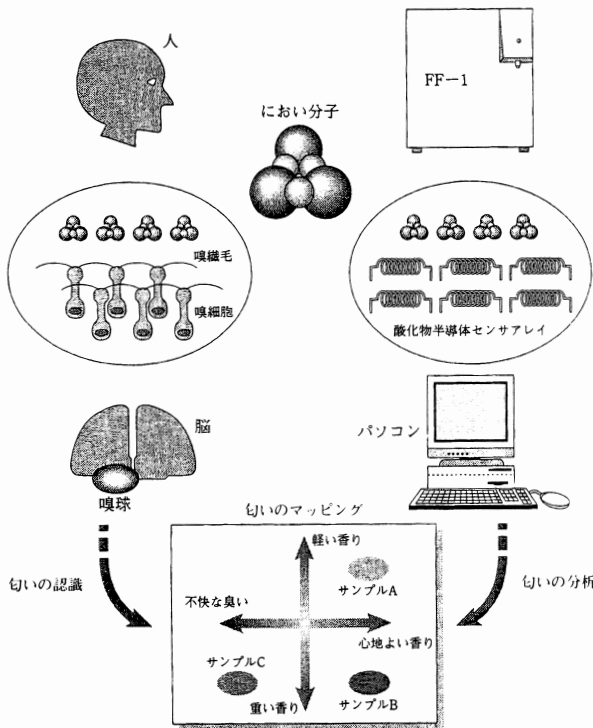


図14. 酸化物半導体センサーによる匂い識別システム

### 5-3-1. 水晶振動子式匂いセンサー<sup>14)</sup>

このセンサーの構造と測定原理を図15に示す。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、空气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  $\Delta f$  は吸着した匂い分子の質量に正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16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リニアな関係にあることが分かる。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百Hz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。

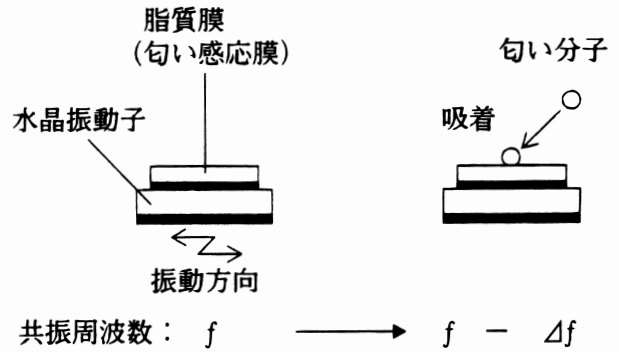


図15. 水晶振動子式匂いセンサーの構造と原理

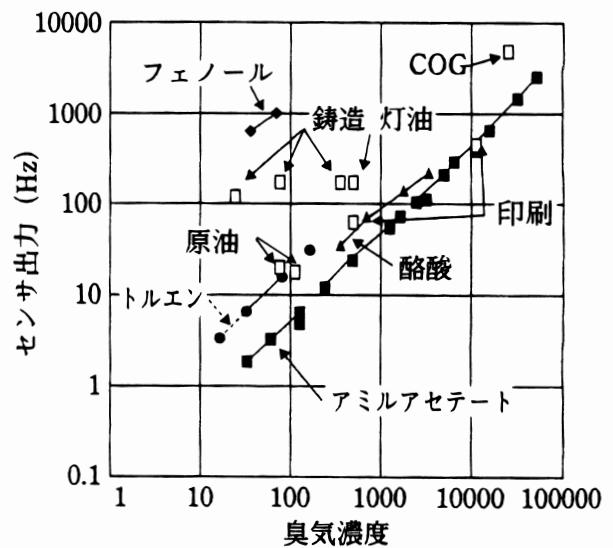


図16. 臭気濃度との相関

### 5-3-2. 膜電気抵抗式匂いセンサー

多チャンネル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。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17に示す。匂いの判別法にはクラスター分析が用いられる。具体的には、一つの匂いについて32のデータが出力されて32次元空間にプロットされる。この空間の複数のプロットを、プロット間の距離を保ったまま次元圧縮により2次元または3次元空間にプロットすることにより視覚的な表示を可能としている。すなわち、このセンサーでは「匂いの違いの

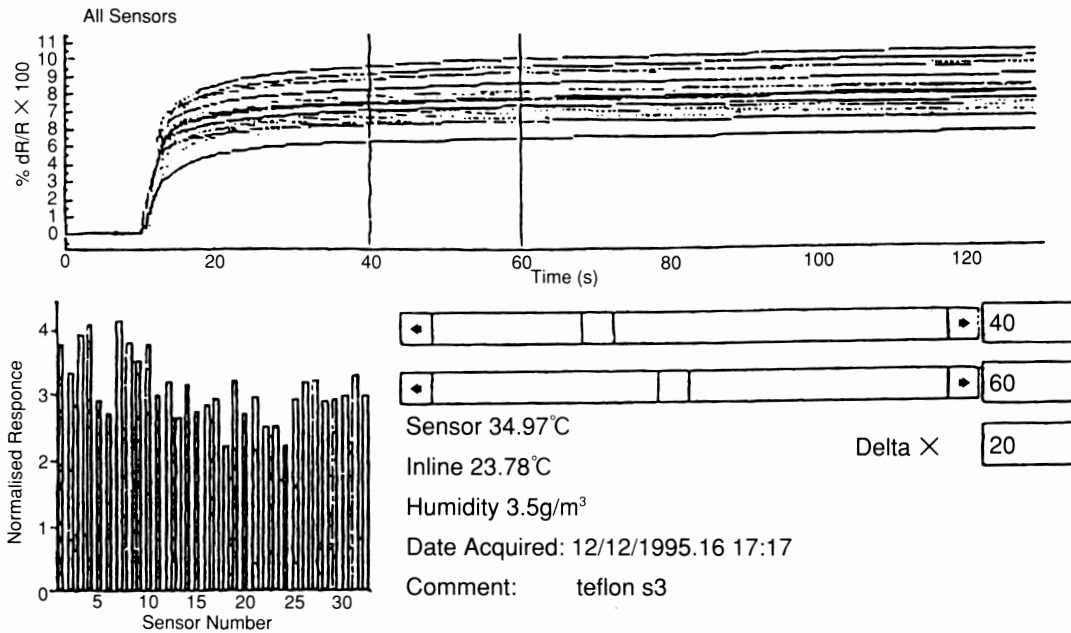


図17. 膜電気抵抗式匂いセンサーの出力（アロマスキャン社提供）

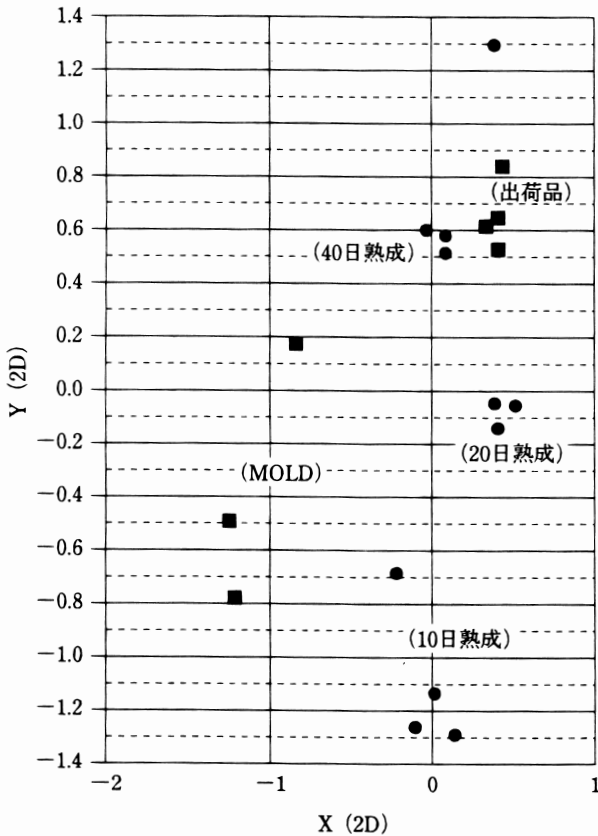


図18. カマンベールチーズの熟成過程における匂い変化

程度」が判別可能である。

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18に示す。前

にも述べたように、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。

#### 5-4. 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、「ヒト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。そこでは知覚や情動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ヒトの生体反応を非侵襲 (non-invasive) に計測しなければならない。このようにヒトを直接対象とする計測には医療分野で言われている「インフォームド・コンセント」、すなわち、「被験者の事前の了承」を得ることが前提となることは言うまでもない。また、ヒトの生体反応や情報を計測する技術は主に医療分野で発達し、計測対象により多種類存在する。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なじみ深い。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、大脳皮質部はヒトの感覚や感性に深く関わっているといえる。現在、ヒトの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。

### 5-4-1. 脳波による匂いの感性計測

これまで食嗜好に関する脳の活動状況は「嗅覚誘発脳波」により計測されてきた。この方法は基本的に短時間のパルス状の匂いで鼻孔を刺激し、その応答電位を頭皮上に接触配置した20個程度の電極で記録する方法である。しかし、この方法で得られる応答は嗅覚神経性の応答ばかりでなく、三叉神経系の応答も含むことが指摘され、嗅覚誘発脳波を選択的に計測することは困難とされてきた。電総研の外池らはこの問題を解決するために、図19に示すような「呼吸同期式匂いパルス刺激装置」と刺激に用いる流体を一定圧力に制御するFlow MethodやBlast Methodを考案し、嗅覚神経応答波形から三叉神経の応答成分を分離する事に成功した<sup>9)</sup>。図20にBlast Methodにより計測されたバナナの香りを持つアミルアセテートの応答波形を示す。P<sub>1</sub>、N<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>のピークは無臭空気刺激においてもほぼ同様に計測されるので、これらの応答ピークは三叉神経応答成分であると考えられる。これに対し、P<sub>3</sub>およびN<sub>2</sub>のピークは匂いの刺激に対してのみ検出されるので、これらの波形成分は嗅覚神経系の応答ピークであると推察される。このように脳波の計測で得られた誘発脳波の波形から感性情報を抽出する事が可能であるが、脳波の発生源を特定する事は困難である。このために、脳波研究の成果も脳波の特別なパターンで判断できる睡眠・覚醒の状態把握やてんかん、脳炎の診断などの利用

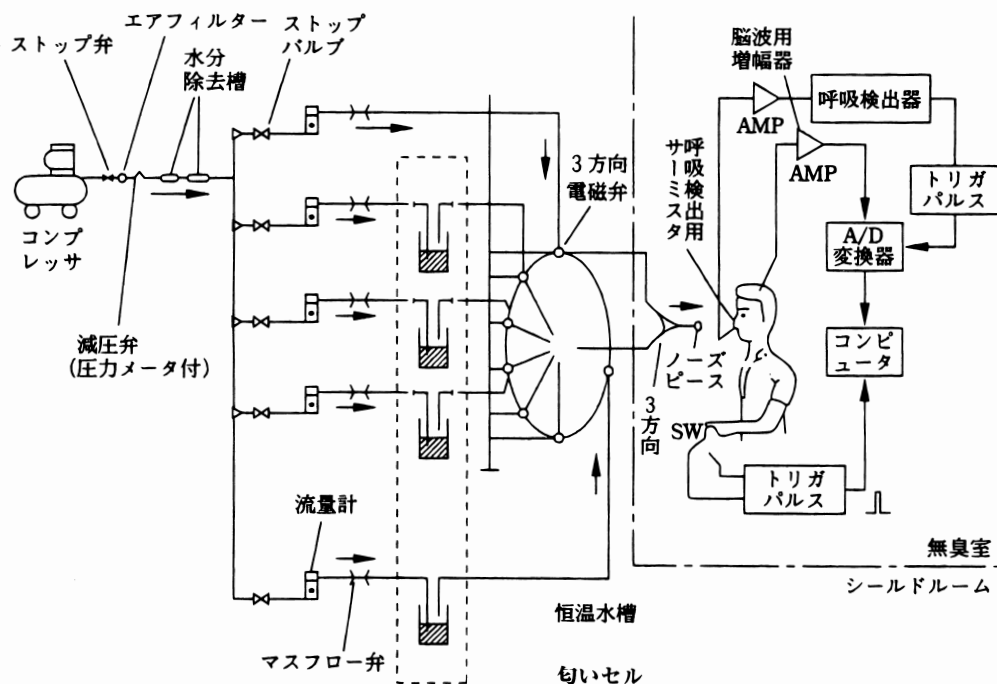


図19. 嗅覚刺激装置と脳波実験状況 (呼吸同期式)

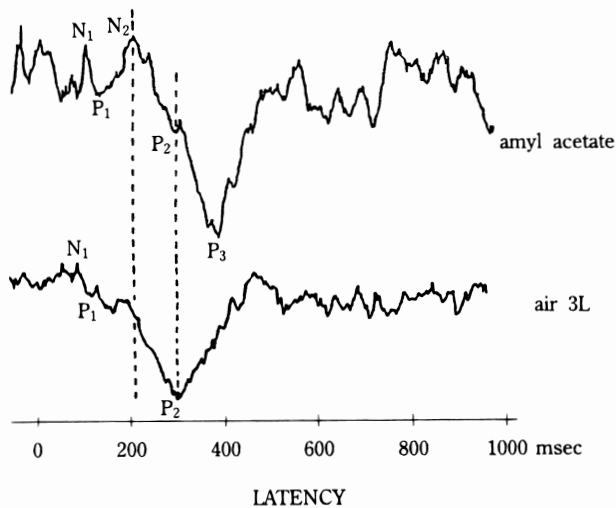


図20. 無臭空気刺激と匂い刺激の応答波形比較

に限られている。

脳波計測のこのような弱点を克服する方法として、双極子追跡法が開発されている。これ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である。そこではま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1秒以内となっている。

現在では「感性スペクトラム分析法」「 $\alpha$ 波ゆらぎ解析」などが提案され、脳波の解析から生理的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。

#### 5-4-2. 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21に示すように、ジョセフソン効果を応用した磁気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。このコイルに極く微弱の磁場の変化が加

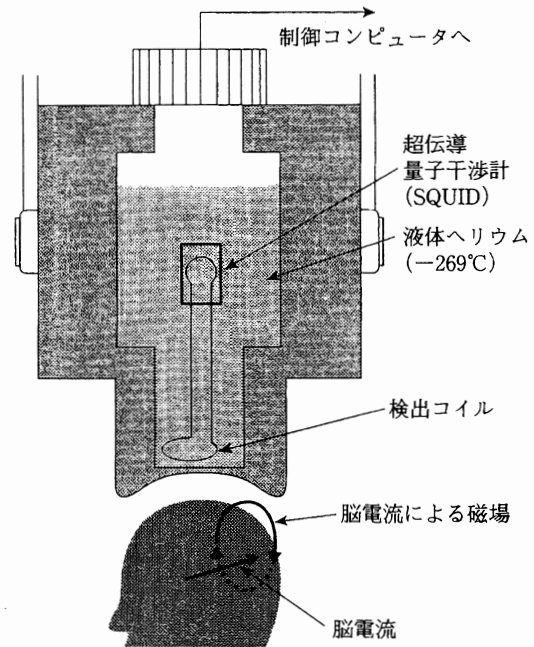


図21. 脳磁計の構造

わるとSQUIDの電圧が変化するようになっている。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10億分の1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わせ、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2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。

## 6. 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明らか

かである。しかし、現状の技術レベルでは感情変化の動態を測定・評価することは極めて困難と見なされている。しかし、本稿で紹介したように、近年になって対象物の属性を多方面から計測するだけでなく、その計測結果にヒトの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<sup>15)</sup>。これにより、「おいしさ」に関するメカニズムの解明が進展すると共に、食品産業界での多方面に亘る応用が進展するものと考えられる。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」の発展が期待される。

## 引用文献

- 1) 相良泰行, 日本食品工業学会誌, **41**(6), 456(1994).
- 2) 相良泰行, 日本食品工業学会誌, **43**(3), 215(1996).
- 3) 都甲潔, ジャパンフードサイエンス, **37**(3), 31(1998).
- 4) 都甲潔, "味覚センサ", 光琳, 1999.
- 5) 外池光雄, テクノインテグレーション, **8**(7), 56(1992).
- 6) 山本隆, 日本官能評価学会誌, **3**(1), 5(1999).
- 7) 相良泰行, 食品工業, **6**(30), 16(1997).
- 8) 相良泰行, "食品感性工学", 朝倉書店, 1999.
- 9) 相良泰行, 日本味と匂学会誌, **8**(2), 153(2001).
- 10) 相良泰行, ジャパンフードサイエンス, **37**(3), 23(1998).
- 11) 相良泰行, 日本味と匂学会誌, **8**(2), 153-159(2001).
- 12) A. W. Logue, 木村定訳, "食の心理学", 青土社, 1994.
- 13) 相良泰行, "食の先端科学", 朝倉書店, 1999.
- 14) 松野玄, 平成7年度農業施設学会秋期シンポジウム講演要旨集, p.26(1995).
- 15) 佐藤邦夫, 平沢徹也, "感性マーケティング", プレジデント社, 1996.

## PROFILE

### 相良 泰行

東京大学大学院農学生命科学研究科農学国際専攻  
助教授  
農学博士

1972年東京大学大学院農学研究科農業工学専攻博士課程中退、同農学部助手に採用、1985年同講師に昇任、1997年同大学院農学生命科学研究科農学国際専攻助教授昇任、現在に至る。