

総説特集 味覚に関する ISOT サテライトシンポジウム

味覚センサ

都甲 潔

(九州大学大学院システム情報科学研究院／味覚・嗅覚センサ研究開発センター)

味覚センサは、脂質と可塑剤、高分子を混合して作った脂質/高分子膜を味物質の受容部とし、五基本味(苦味、酸味、うま味、塩味、甘味)と渋味を数値化することができる。センサの定義する「味の物差し」を用い、測定サンプルの味の相対評価ではなく絶対評価を与える。全世界で400台以上の味覚センサが食品や医薬品メーカー、大学、公設のセンター等で利活用されている。ここでは、味覚センサの原理と応用、実施例を紹介する。

キーワード：味の数値化、味の可視化、広域選択性、味の物差し、食譜

はじめに

図1に家族3人でコーヒーを飲んでいる状況を描いている。坊やは「苦い! まずい!」と言い、お母さんは「普通の苦さで、おいしい!」と言い、お姉さんは「全然苦くない。物足りない味」とのたまうのである。このように味の感じ方は三者三様である。ところが、実は一個人をみても、味の感じ方は日々異なる。このお姉さんは現在ストレスが溜まっている可能性がある。というのも、ストレスが溜まると、苦味に鈍感になるからである。明日になると、お姉さんは無事仕事も完了し、結果、ストレスも解消し、今度は「苦いッ! 飲めないッ!」と文句をいう可能性すらあるのだ。このように味の感じ方は人によって違うし、また個人の体調によっても違ってくる。

私たちが日常生活で「味」と言うとき、その「味」は、味覚はもちろんのこと、他の感覚である嗅覚、触覚、視覚、聴覚も含み五感を統合した感覚のことである。さらに、その場の雰囲気や会食メンバー、自分が育った環境や歴史、食文化なども「おいしさ」

や「嗜好性」に効いてくる。心で思い、感じ、言葉にした瞬間に「味」は幾つもの要素が絡んだ複合感覚となっている。その意味で「味」は主観である。例えば、オレンジ色の砂糖水を飲むとオレンジジュースと勘違いしたり、鼻をつまむとオレンジジュースとリンゴジュースの区別がつかず「味で感じていると思っていたら匂いで感じていたのですね」と言ったりする、といった事実から分かるとおり、「味」は複合感覚であり、主観である。



図1 味の感じ方は人によって違う

Taste Sensor

Kiyoshi Toko : Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Research and Development Center for Taste and Odor Sensing, Kyushu University ; 744, Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan ; TEL : 092-802-3748 ; FAX : 092-802-3770 ; E-mail : toko@ed.kyushu-u.ac.jp

都甲 潔

他方、「舌や口腔内の味蕾で感じる味」は客観性を持つ。複数の味細胞からなる味蕾で化学物質を受け取るが、味細胞を覆う生体膜には化学物質を受け取る受容体が存在する。生体膜には電圧が元々発生しており、その値が化学物質の受容で変わる。

その電圧の変化は、味細胞にシナプスを介して接続した味神経へ伝わり、味神経はそのシグナルを脳へ伝える。多くの味細胞や味神経は1つの味質のみを受容し伝える。この事実を考えると、舌の味神経に電極を刺し、電位を記録すると、その人がどういった味を感じているかを知ることができる。ということとは、味を客観的に把握できるということである。つまり、「舌で感じる味」または「味神経を伝わる味情報」は客観的に捉えることが可能である。味覚センサは、「舌で感じる味」を数値化するものである。味覚センサは味を検知し数値化するセンサであり、化学物質情報のみを検知するイオンセンサや酵素センサとはその目的と設計指針が異なっている。本稿では、味覚センサの原理と応用、実施例¹⁻⁸⁾について紹介する。

味覚センサ

味覚センサは、生体膜を模倣した人工の膜を味物質の受容部に用いる。この人工膜は脂質と可塑剤、高分子をブレンドした膜、つまり脂質/高分子膜である。脂質/高分子膜は味物質と電気的な相互作用をしたり、または吸着したりすることで、味物質の

情報を電圧に変換する。(株) インテリジェントセンサーテクノロジーから販売されている味認識装置 SA402B と TS-5000Z は複数の受容膜を備えており、この複数の膜からなる応答電位出力から複数の味質を数値化(デジタル化)する。図2にTS-5000Zのセンサヘッドと脂質膜電極を示す。現在、400台以上もの味認識装置が世界各国で活躍している。

図3に味覚センサの五基本味応答を示す⁸⁾。各味質への応答は、各味質へ特化した脂質膜センサの応答である。苦味と酸味の応答閾値(応答し始める濃度)が低いのは、これらが一般に生体にとり毒であるからに他ならない。各味質を計測するセンサ電極

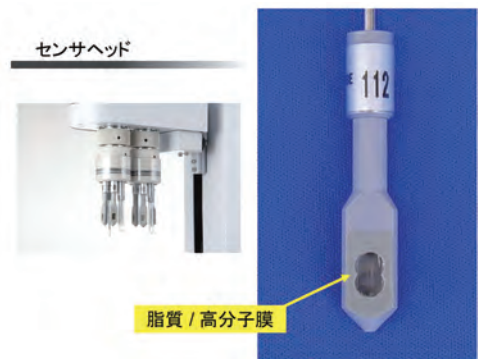


図2 味覚センサ(味認識装置 TS-5000Z:(株)インテリジェントセンサーテクノロジー製)のセンサヘッドと脂質膜電極

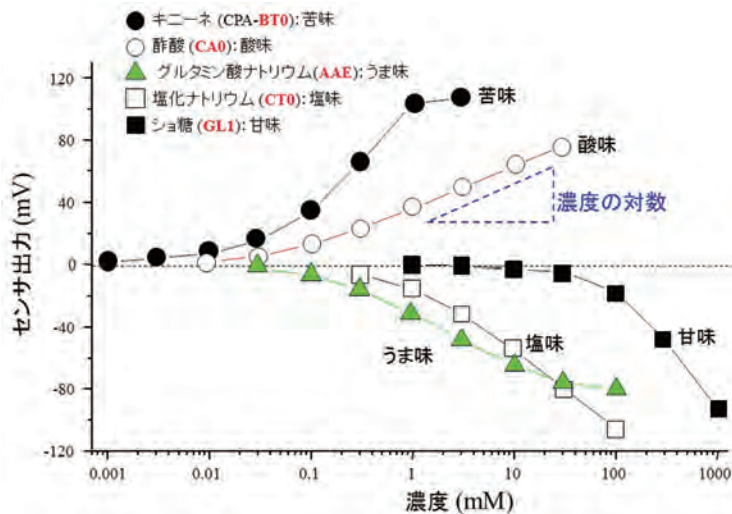


図3 味覚センサの五基本味応答 (文献8より引用)

味覚センサ

に名前が記されており、BT0、CA0、AAE、CT0、GL1はそれぞれ苦味、酸味、うま味、塩味、甘味計測用のセンサ電極である。また、BT0に付したCPAとは、サンプル測定後に膜を十分に洗浄しないで、基準液に直ぐ浸け、その電位応答変化から膜に吸着した化学物質を検出する操作のことで、CPA値は人でいうところの「後味」に相当する。味覚センサは人の感じる後味も数値化できるのである。CPAはChange in electric Potential due to Adsorption of chemical substances onto the membrane（化学物質の膜への吸着による電位の変化）の略である。脂質膜に吸着する疎水性を有する化学物質の計測に有効である。

図から各センサ受容膜が5つの味へ異なる応答をすること、味物質の濃度の対数(log)に比例して応答することが分かる。この特性は私たちヒトと同じである。つまり、ヒトの味細胞も各味質に選択的に応答し、その強度は味物質の対数に比例する(Weber-Fechnerの法則)。

図4は、医薬品用の苦味センサBT0の応答(CPA値)である⁹⁾。図から分かる通り、このセンサは塩味、酸味、うま味、甘味、渋味にはほとんど応答せず、苦味を呈するキニーネ、セチリジン、ヒドロキシジン、ブロムヘキシシに大きく応答している。さらに、このBT0応答値は人間の官能値(味の強さ)と良い相関を示す⁹⁾。センサは、苦味の強いロペラミドには大きな出力を示し、苦味の弱いブロムヘキシシには小さな出力を示す。この事実から分かる通り、人の感じる苦味をセンサで数値化できるので

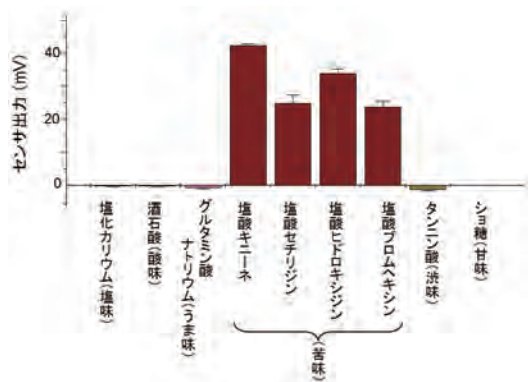
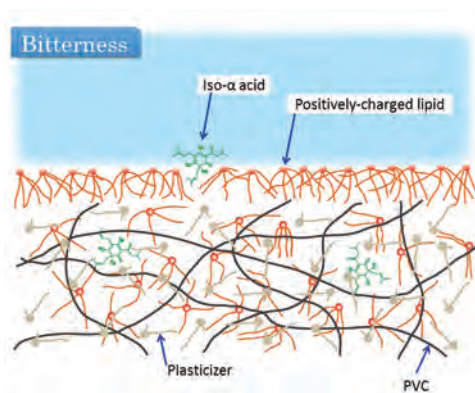


図4 脂質膜センサBT0の五基本味と渋味へのCPA応答値(文献9より引用)

ある。他の膜でも同様に各味質に選択性の高い機能を実現しており、その成功の秘訣は、脂質と可塑剤を選別し、かつこれらの割合を調整したことにある。例えば、苦味用センサでは、電荷を有する脂質の含量を少なくし疎水性を高めている。逆に、塩味用センサでは荷電脂質の含量を多くし、親水性を高め、イオンとの静電相互作用を起りやすくしている。

図5に食品の苦味計測用の脂質膜(a)と塩味計測用の脂質膜(b)を描いている⁵⁾。2つの図から分かるように、苦味用の膜と塩味用の膜で使用している脂質は同じtetradodecylammonium bromideである。ところがよく見ると、脂質の量が違う。苦味用の膜では荷電性脂質の量が少なく、塩味用の膜では荷電性脂質が多い。つまり、塩味用の膜は苦味用の膜より親水性が高い。苦味物質の多くは疎水性を有する。他方、塩味物質はもちろんNaイオンを主とする親

(a)



(b)

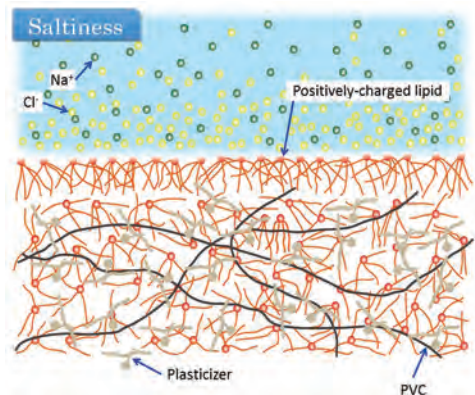


図5 脂質/高分子膜の模式図。(a)食品の苦味計測用の脂質膜、(b)塩味計測用の脂質膜(文献5より引用)

都甲 潔

水性である。要するに、疎水性の高い苦味物質には疎水性の膜を用意し、親水性の塩味物質には親水性の膜を用意するということである。加えて、CPA 計測も併用することで、苦味物質への選択性を高めている。

上述のとおり、人の感じる苦味をセンサで数値化できる。他の味質に関しても同様の性質、味質に選択的に応答する性質、つまり「広域選択性」(global selectivity)を有するセンサ受容膜が開発されている。

また、数年前まで、味覚センサはアスパルテームやサッカリンナトリウムといった高感度甘味料の味の数値化はできなかった。ごく最近、それも可能となった。通常の食品ではアスパルテームは正荷電に、サッカリンナトリウムやアセスルファムカリウムは負荷電に帯電するため、その荷電状態に対応した膜開発が試みられた。結果、前者では負荷電脂質を用い¹⁰⁾、後者では正荷電脂質を用い¹¹⁾、実用レベルに迫る受容膜の開発に成功している。

味の可視化

これまで味覚センサは、ビール、焼酎、日本酒、ワイン、だし、スープ、コーヒー、紅茶、緑茶、お米、肉類、餃子、ポテトチップス、マヨネーズ、チーズ、牛乳、ヨーグルト、ミネラルウォーター、味噌、醤油、カボスやミカンなどの果物、野菜など、多くの食品へ適用され、その味の定量化に成功している。固体の食品では水と一緒にミキサーで処理することで液状とし測定に供する。

図6に世界のビールのテイストマップ(味の地図)を示す⁷⁾。図中の目盛は味覚センサによる尺度で、「1」は人がギリギリ区別がつく味の差であり(味物質の濃度で1.2倍の違い)、「3」だと、ハッキリと識別可能な味である。これが味覚センサの提唱する「味の物差し」である。なお、もちろん図の原点は任意で、図全体の平行移動は可能である。さて、図から日本のエビスビールはかなり苦く、アサヒスーパードライは辛口に位置することが見て取れる。ドイツ(B.R.D.)のKöstritzer Schwarzbierも苦いビールである。オーストラリアのCastlemaine XXXX、

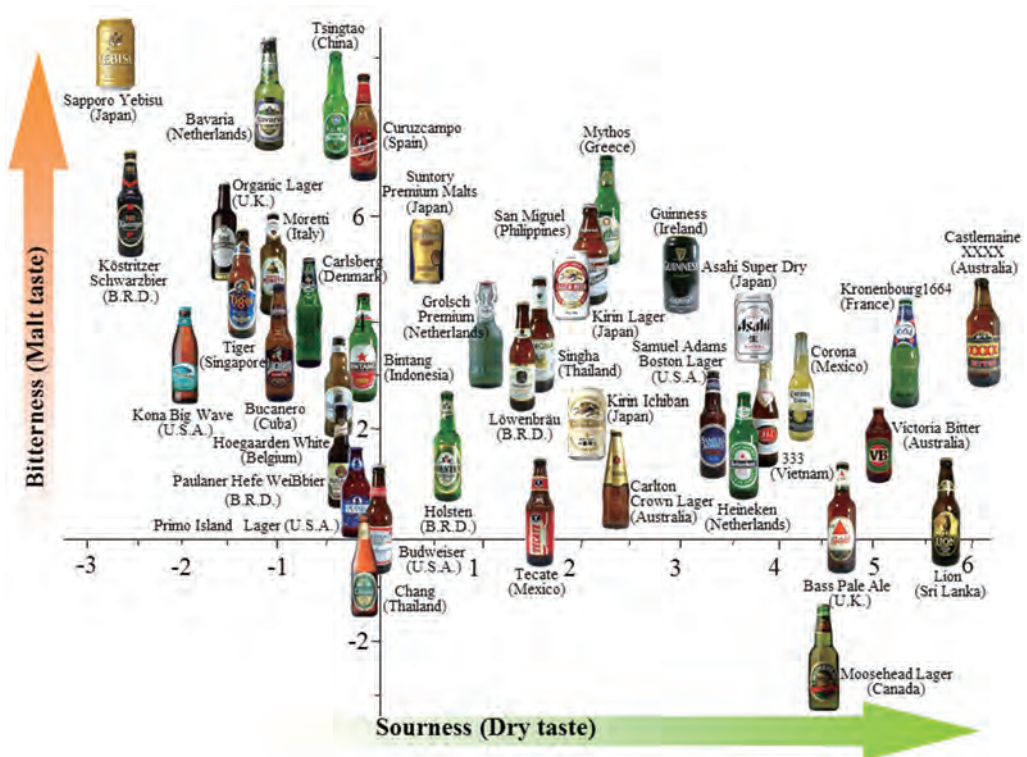


図6 世界のビール (文献7より引用)

味覚センサ

カナダの Moosehead Lager、フランスの Kronenbourg 1664 は酸味の強い辛口ビールである。バドワイザーやベルギーの Hoegaarden White は苦くもなく辛口でもなく中立の味のビールである。エビスビールがテイストマップの左上に、スーパードライがマップの右に位置することから分かります。日本のビールも世界のビールと大差ないといえる。保存もでき、かつ味も良い、となれば、およそそのような味に落ち着くのであろう。

図7にアサヒスーパードライ、キリンラガービール、サッポロ黒ラベルと地ビールである大雪ピルスナーの味パターンを示す。苦味(先味)、うま味、苦味(後味)、うま味コク(うま味用のセンサによるCPA値のこと)、酸味の5つの軸で示す。ポピュラーな3つのビールは比較的似通った味パターンをしている(とはいっても、もちろん図6に示した範囲での味の違いは歴然と存在する)のに対し、大雪ピルスナーは苦味の先味と後味、うま味、うま味コクが際立っているのが見て取れる。このように、地ビールにはかなり個性のあるものも多く見られ、食文化の多様性を彷彿とさせる。私たちは味覚センサ

を用いることで、舌で味わう味を目で見、評価することができるのである。

味覚センサを用いた商品開発

味覚センサは上記のとおり、味を数値化できるため、新商品の開発とマーケティングの双方に利用されている。例えば、コーヒー製造を考えよう。コーヒーの場合、生豆の出来不出来に年ごとの変動が激しく、安定した望む味のコーヒーを提供することは必ずしも容易ではなく、これまでブレンダーといわれる感覚を鍛え込んだ人たちにより商品設計がなされていた。そこで、味覚センサを用いた商品設計手法を採り入れることで、開発時間を短縮し、優秀なブレンダーにもできなかった味と価格の最適化が可能となっている。日本航空 JAL 機内でのコーヒーは味覚センサを利用して開発されたものである。

目的の(酸味と苦味を強く等といった)味パターンを定め、各コーヒー原料の味を味覚センサで測定し、それら味パターンの重ね合わせの最適化計算が行われた。その際、当然仕入れ価格の安い生豆もあるわけで、最適化計算の際に、それも考慮する。結

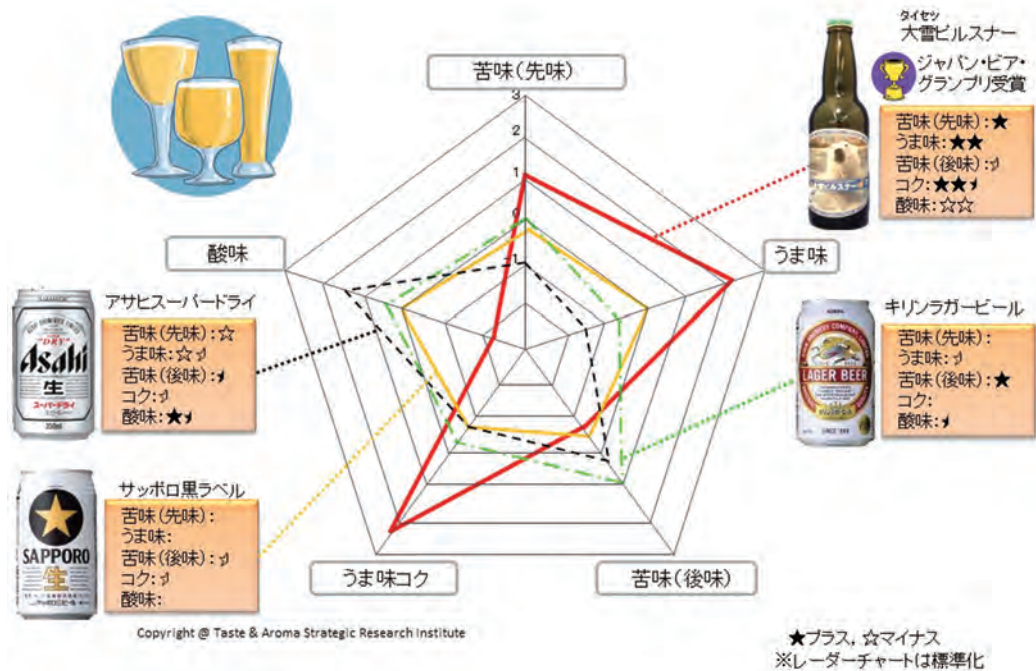


図7 地ビールの味わい ((株) 味香り戦略研究所提供)

都甲 潔

果、これまで試行錯誤していたコーヒープレンドの作業が、味を数値化したデータベースを用い、客観的かつ自動的に行えるのである。

味を数値化、また可視化することにより、必要な豆だけを選ぶことができ、仕入れと製造効率を改善できる。またデータベースから豆の候補を選び出すことで開発時間が短縮できる。目的の味を創り出し、これまでの味を変えずに価格を抑えることができるわけである。

マーケティングでは、買う側もその味パターンを見ることで客観的に味を把握できる。

ブランド化で強い農業を

一般に農産物（野菜、青果物、緑茶、食肉、乳製品等）には、品質の当たり外れが多い。冒頭で述べたとおり、「おいしい」と感じるのは個人差があるとしても、当然のことながら私たちには自分の好みに合ったものを食べたいという願望がある。そこで、農産物に「味」の表示があれば、消費者は自分の好みに合ったものを安心して購入することができるため、その満足度が上がる。消費者は（客観性に基づいた）“うたい文句”に魅力を感じるので、情報の提供が非常に重要である。消費者に対する農産物の「味」に関する情報提供を味覚センサは可能にするものである。

これまで既に味覚センサによる「味」の表示がある食品（主としてPB食品）が小売店に幾つも並ん

でいる。今後、農産物に「味」の表示を普及させれば、消費者の満足度は上がり、そのような農産物は高く売れるようになるであろう。例えば「うま味レベルが高く、甘味が抜群に強い」という表示（「うま味★★、甘味★★★」のように星印で表示）のあるトマトであれば、たとえ少々高価格であっても消費者の心をつかみ、売れる可能性が高くなる。

農林水産省の食品産業局輸出促進グループのHPに農林水産物・食品の輸出促進対策の概要が紹介されている。そこでは、日本食文化の普及、世界の料理界で日本食材の活用推進、日本の食文化・食産業の海外展開、日本の農林水産物・食品の輸出が謳われている。そこで活躍するのが味覚センサである。

図8に、味覚センサで測った日本とベトナムのカップラーメンのスープの味を示す。日本のスープはベトナム産に比べ、うま味コク（うま味用センサのCPA値）も塩味も高いことが分かる。もしこの食文化の違いを把握しないで海外展開を行うとすれば、その結果は容易に推察できる。そう、現地の人々の人気を得ることなく、展開失敗となるのである。つまり、グローバル展開はローカル性を意識しないとイケない。こういった展開失敗の事態を防ぐためには、事前に各国の食文化を客観的に、かつ定量的に把握することが肝要である。

JETRO（日本貿易振興機構）では、このような事実を背景に、2014年に味覚嗜好性調査を行った。日本産農林水産物と食品の輸出促進のために、現地消

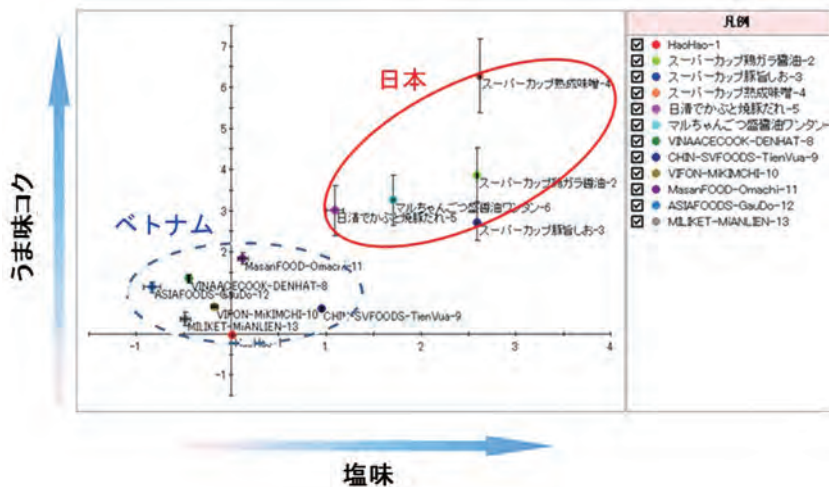


図8 各国、各地域で慣れ親しんだ味はそれぞれ異なる ((株) インテリジェントセンサーテクノロジー提供)

味覚センサ

費者の嗜好と販路拡大可能性調査を目的とし、味覚センサによる味分析と在邦外国人食品業界関係者を対象にしたインタビューが実施され、その結果がHP上に報告されている¹²⁾。調味料、柑橘系清涼飲料水、インスタント麺、チョコレートや日本酒、ビール、牛肉等についてまとめられている。

地域の活性化には農業の強化が不可欠である。農家や農地の状況に鑑みると、今後の農業は大規模化よりも農産物のブランド化の推進こそが地域の活性化につながり、その結果、わが国の「強い農業」が実現できると予想される。味覚センサは、農産物の生産や流通の現場、そして農産物のブランド化を目指す農業関連団体等において、「味」の数値基準の設定による品質保証および高付加価値化あるいはブランド化を強力にサポートし、ブランド農産物の「味」に関する信頼確保のために必要不可欠な技術として活用されるであろう。味覚センサという文明の利器を活用することで、このTPP社会をブランド力で勝ち抜くことができるのである。

結 語

味覚センサは、これまで舌で味わうことしかできなかった食を、目に見える形で定量表現することを可能とした。デジタル化した情報、つまり食譜（食の譜面）をもとに最適化計算を行ない、この味になるように調理することで、望む味が保証される。

今後、図9に描いているように、他の感覚を表現するセンサを融合し、おいしさや安全性といった食

の品質を客観的に評価すること、また五感の可視化を行うことや食の品質記述ツールを作成すること、食データベースに基づく3Dフードプリンタの開発も不可能ではない。これら異種のセンサの出力を情報処理する科学技術を開発することで、五感融合バイオセンサシステムが実現する日も近く、現在そういった試みもなされつつある¹³⁾。このCPS (Cyber Physical System) またはIoT (Internet of Things) の時代にあつて、これらセンサの作るデータベースならびに人の官能によるデータベースの共有は、新しい時代の到来を予見させる。

文 献

- 1) 都甲 潔, 小野寺武, 南戸秀仁, 高野則之: センサのキホン, ソフトバンク クリエイティブ (2012)
- 2) 都甲 潔, 飯山 悟: トコトン追求 食品・料理・味覚の科学. 講談社 (2011)
- 3) 都甲 潔: 感性の起源. 中央公論新社 (2004)
- 4) 都甲 潔: 味覚を科学する. 角川書店 (2002)
- 5) Tahara Y and Toko K: Electronic tongues - A review. *IEEE Sensors Journal* 13, 3001-3011 (2013)
- 6) Toko K ed.: *Biochemical Sensors - Mimicking Gustatory and Olfactory Senses*. Pan Stanford Publishing (2013)
- 7) Toko K and Tahara Y: Beer analysis using an electronic tongue, in *Electronic Noses and Tongues in Food Science* (Mendez MR and Preedy VR eds). Elsevier Inc., Chap.16, pp.161-170 (2016)
- 8) Toko K, Onodera T and Tahara Y: Nano-biosensors for mimicking gustatory and olfactory senses, in *Bio-Nanotechnology/A Revolution in Food, Biomedical and Health Sciences* (Bagchi D, Bagchi M, Moriyama H and Shahidi F eds). Wiley-Blackwell, Chap. 15, pp. 270-291 (2013)
- 9) Kobayashi Y, Habara M, Ikezaki H, Chen R, Naito Y and Toko K: Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores. *Sensors* 10, 3411-3443 (2010)
- 10) Yasuura M, Tahara Y, Ikezaki H and Toko K: Development of a sweetness sensor for aspartame, a positively charged high-potency sweetener. *Sensors* 14, 7359-7373 (2014)

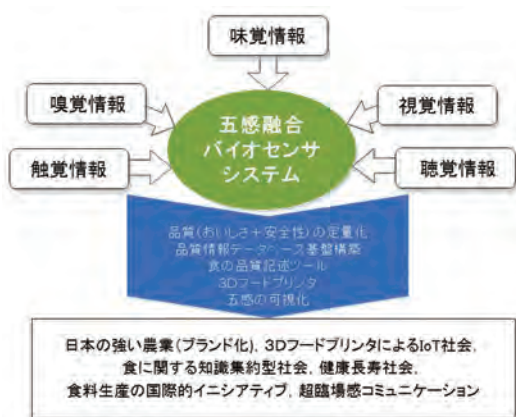


図9 五感融合バイオセンサシステム

都甲 潔

- 11) Yasuura M, Okazaki H, Tahara Y, Ikezaki H and Toko K: Development of sweetness sensor with selectivity to negatively charged high-potency sweeteners. *Sensors and Actuators B*201, 329-335 (2014)
- 12) JETRO:味覚嗜好性調査.<https://www.jetro.go.jp/world/reports/2014/63ed6342c5f90c4a.html>
- 13) Fujimoto Y, Chiba H, Okawa R and Toko K: Effects of different heating methods on positional differences in taste, texture, color, and palatability of simmered food: Comparison of sensor responses and sensory evaluation results. *Sensors and Materials* 27, 365-375 (2015)

<著者紹介>

都甲 潔 (とこう きよし)

- 1975年3月 九州大学工学部電子工学科卒業
1980年3月 九州大学大学院工学研究科博士課程修了
1980年4月 九州大学工学部電子工学科助手
1990年7月 九州大学工学部電子工学科(電子材料物性講座)助教授
1997年4月 九州大学大学院システム情報科学研究院 教授
2008年10月~2011年3月 同研究院 研究院長
2009年5月~現在 同研究院 主幹教授
2013年11月~現在 九州大学味覚・嗅覚センサ研究開発センター長

