インテリジェントセンサデバイスの技術動向

II. インテリジェント味覚センサ

解説

キーワード：

味覚センサ，インテリジェントセンサ，味，感性，広域選択性

正 員 都 甲 潔

九州大学工学部

1. はじめに

センサはこれまで高い選択性が重要視され、開発されてきた歴史を持つ。これは確かに視覚、聴覚、触覚に相当するセンサではそうであり、それぞれ光、音波、圧力（そして温度）といった単一の物理量を選択的に高感度で受容することが大事である。他方、味覚や嗅覚は非常に多種類の化学物質を同時に受容して生じる感覚であるため、その受容レベルにおいてすら開発が遅れていた。

味覚や嗅覚を代行するセンサは、これまでのセンサと異なる設計指針を持つべきであり、ここで紹介する味覚センサは生体膜の構成成分である脂質を受容部に成膜化することで、味を呈する化学物質の受容、そして味質の識別と味の定量化に成功している。味は化学物質に固有の性質ではなく、生体膜に作用することで初めて現われる概念であり、アンリツ（株）との共同研究により開発されたマルチチャネル味覚センサは、その作用を受容レベルにおいて再現するというインテリジェンスを有している。味覚センサは、世界で初めて味の定量化に成功したバイオミメティックデバイスの一つである^{(1)~(3)}。

これまで味覚の世界では、「味はしょせん人の舌が頼りき」といった風潮があったように思える。しかしながら、この状況は味覚センサの登場で大きく見直す時期にきているといえる。味覚センサは、人が感じる「味」を出力すると同時にその感度・耐久性ともに人の舌を越えている。

2. おいしさを測る

「おいしさ」は数多くの要素がからむ複合的な感覚である。基本となる味に加えて、辛味や渋味といった味細胞以外で受容される味、さらに匂いや舌ざわり（テクスチャー）、そして見た目やそのときの気分なども効いてくる。そのうえこれまでの食習慣や食文化も影響してしまう。まさしく感性の世界ともいえる。しかしながら、科学の発展の歴史が計測技術の進歩とともにあったことを考えると、このような主観的感覚の中から客観的要素を取り出し、定量化・標準化することで、私達の食文化はずいぶん豊か

になるであろう。実際昔は長さの単位も、王様の鼻の頭から手の先までを1ヤードと約束するといった、かなり主観的ともいえる時代があったのである。味覚については、「味細胞で受容される味」の定量化を行うことで、味のもののさを提供できないであろうか。

一般に味は5つから構成され、それは酸味・塩味・苦味・甘味・うま味である。酸味は主として水素イオンの生じる味、塩味は塩化ナトリウムなどの金属イオンの呈する味、苦味はカフェインなどの植物系アルカロイドの呈する味、甘味はショ糖などの呈する味である。うま味はグルタミン酸ナトリウムやイノシン酸ナトリウムに特有の味である。これらが味細胞で受容されて「味」を生じる。

そこで、これらの物質がどうして違う味を呈するのだろうか。それは味物質と舌との間の相互作用の違いに由来する。味物質は舌の表面にあるブツブツ（乳頭）にくっつき、味細胞の膜電位（細胞内外の電圧の差）や膜抵抗を変える。つまり「味物質→細胞の電気的変化」という図式である。電気的変化は味神経を伝わって脳に達し、味が知覚される。

3. マルチチャネル味覚センサ

味覚センサの受容部（電極）は脂質をポリ塩化ビニルとともに成膜化したものであり、異なる脂質材料を用いることで、酸味や苦味といった味質に対する応答特性を変えることができる。味を呈する物質はこの脂質/高分子膜と相互作用し、膜は各味質、味強度に応じて電圧を発生する。システムはこの電極部とデータを処理するコンピュータ部、結果を図示する表示部とからなる。

たとえば、NaCl（塩味）、キニーネ（苦味）、クエン酸（酸味）などの5つの味に対する8つの膜からなる応答パターンとの誤差は1%を切っているため、5つの味の識別が明瞭にできる。注目すべきは、5つの味に対しては異なる応答パターンを示すのに対し、似た味では似たパターンを示すことである。酸味を呈する塩酸・酢酸・クエン酸では似たパターンを示し、うま味を呈するグルタミン酸・イノシン酸・グアニル酸でも同様に似たパターンを出す⁽⁴⁾。

従来の化学分析機器は主として、化学構造の違いの高感度検出を追いつめてきた。味覚センサは、化学物質の呈する味を測定する。事実、私達はグルタミン酸（アミノ酸系列）とイノシン酸（ヌクレオチド系列）のその大きな構造の

違いにもかかわらず、同じ「うま味」を感じる。ショ糖もサッカリンも全く構造が違うが、やはり甘く感じる。

4. 食品への応用

さらにビール^{(5),(6)}や日本酒⁽⁷⁾、焼酎⁽²⁾などの銘柄も百発百中で識別できる。この事実からもわかるように、人間が検知できないほどの微妙な味の識別が可能である。繰り返し使用も少なくとも3カ月以上行える。特に注目すべきことは、ビールの中に泡がたくさんある状態ですぐ測れる点である。つまり、人が味わうのと同じ状態で測れる。

現在、コーヒー⁽⁸⁾、ミルク⁽⁹⁾、ミネラルウォーター⁽¹⁰⁾、味噌、醤油、米、果物などへも適用されており、ビールの苦味を始めとして、たとえばコーヒーの苦味やみかんの酸味と甘味なども定量化できる。さらに味噌や日本酒では熟成、発酵に伴って、脂質/高分子膜の出力電位がリニアに増加することが見い出されており、発酵食品の製造管理工程に使えることがわかってきた⁽⁷⁾。

固形食物であるトマトもミキサなど（人工の歯といえる）で砕いて液状にすると測定が可能である⁽¹¹⁾。液状といっても、大きな塊が浮遊した懸濁液である。ビールの場合と同じように味の解析を行うと、あるトマトは酸味を抑えて甘味が強いトマト、他方また別のトマトは比較的酸味が強いトマトであることなどが示せる。これは確かに人の味覚と一致する。複合味を呈するアミノ酸に対しても、識別でき、さらに味の定量化が可能である⁽¹²⁾。

またある食品の電位応答パターンを測り、そのパターンに近くなるように、任意の味物質の組み合わせを作り上げることで、その食品と似た味を再現することができる。つまり、味覚センサを用いて味を人工的に合成できる⁽¹³⁾。したがってコンピュータへ蓄積したデータを基に希望の味を調合することが可能であり、味のコントロールが自由に行える時代に入ったといえる。

さらに膜の応答特性についても、そのメカニズムが解明され、膜作成の設計指針を定量的に与えることが可能となりつつある^{(14),(15)}。

5. 味覚センサが創造する味の文化

味覚センサはすでに感度・持久力の点で、人間の舌を越えている。味覚センサは、従来のセンサの持つ高選択性なる概念と全く異なる概念、「広域選択性 (Global selectivity)」を有するセンサである⁽¹⁶⁾。今後、食品の味の定量的評価や製造・検査工程の自動化など広範な応用が考えられる。さらに近年のバイオテクノロジーの発展で、新しい薬物や食糧生産技術が生まれようとしており、人間が直接試食できないような天然物や合成物の味の分析や合成などの操作を味覚センサで行うことが可能であろう。

味覚センサは、これまで主観的要素が多かった味覚の世界に科学的ものさしを持ち込むものであり、食文化は今後大きく変わるであろう。

将来のマルチメディア社会では、コンピュータを前に今

日の食事のメニューを考える状況が現われるであろう。ここでは、まずモニター上の料理の味の傾向（味のパターン図）を見て、そこで好みの味が決まればさらに進んで具体的料理のリストが表示される。その際に重要なことは、万人共通の味の表示が行き渡っていることであろう。今はフランス料理のレストランや中華料理店へ行っても、あらかじめその料理を知っていないと料理の味を知ることは難しい。メニューを眺めて日本語に翻訳して、それからどのような料理かを想像するのみである。

音楽は本来聴覚の分野に属する文化である。しかし、それを視覚で処理できる楽譜が普及したために、私たちは20世紀にあつてバッハやベートーベンの曲を再現できる。

味覚も確かに今は主観のみが一人歩きしている。しかし、この状況は今後どんどん変わっていくことだろう。味を客観化できる機器を用いることで、万人共通の「食譜」を作ることも夢ではない。21世紀の社会は、自宅でコンピュータを前に食譜を眺め、レストランでは食譜を見て、料理を決める時代となっているだろう。味の定量化、それは長さや時間を測るものさしが登場した、あのエジプト時代に相当する黎明期にさしかかろうとしているのである。

(平成8年4月10日受付)

文 献

- (1) 都甲・山藤:「美味しさを測る」, 講談社 (1991)
- (2) 都甲:「味覚センサ」, 朝倉書店 (1993)
- (3) 都甲・宮城:「センサ工学」, 培風館 (1995)
- (4) K. Hayashi, M. Yamanaka, K. Toko & K. Yamafuji: *Sens. Actuators*, B2, 205 (1990)
- (5) 池崎・林・山中・立川・都甲・山藤: 信学論, J74 CII, 434 (1991)
- (6) K. Toko, T. Murata, T. Matsuno, Y. Kikkawa & K. Yamafuji: *Sens. Materials*, 4, 145 (1992)
- (7) Y. Arikawa, K. Toko, H. Ikezaki, Y. Shinha, T. Ito, I. Oguri & S. Baba: *Sens. Materials*, 7, 261 (1995)
- (8) T. Fukunaga, K. Toko, S. Mori, Y. Nakabayashi & M. Kanda: *Sens. Materials*, 8, 47 (1996)
- (9) K. Toko, T. Iyota, Y. Mizota, T. Matsuno, T. Yoshioka, T. Doi, S. Iiyama, T. Kato, K. Yamafuji & R. Watanabe: *Jpn. J. Appl. Phys.*, 34, 6287 (1995)
- (10) S. Iiyama, M. Yahiro & K. Toko: *Sens. Materials*, 7, 191 (1995)
- (11) Y. Kikkawa, K. Toko & K. Yamafuji: *Sens. Materials*, 5, 83 (1993)
- (12) Y. Kikkawa, K. Toko, T. Matsuno & K. Yamafuji: *Jpn. J. Appl. Phys.*, 32, 5731 (1993)
- (13) K. Toko, T. Matsuno, K. Yamafuji, K. Hayashi, H. Ikezaki, K. Sato, R. Toukubo & S. Kawarai: *Biosens. Bioele.*, 9, 359 (1994)
- (14) K. Oohira, K. Toko, H. Akiyama, H. Yoshihara & K. Yamafuji: *J. Phys. Soc. Jpn.*, 64, 3554 (1995)
- (15) K. Oohira & K. Toko: *Biophys. Chem.* (1996) in press
- (16) K. Toko: *Materials Sci. Eng.*, C4, 69 (1996)

都 甲 潔 (正員) 1980年九州大学大学院工学研究科博士課程修了。同年電子工学科助手を経て現在システム情報科学研究科電子機能材料工学講座助教授。工学博士。バイオエレクトロニクスの研究に従事。特に味覚センサの開発と生物における自己組織化(非線形非平衡現象)の研究。応用物理学会, 生物物理学会, 電子情報通信学会, 膜学会会員。