6 感覚間相互作用を利用した味覚提示

鳴海 拓志　　谷川 智洋　　廣瀬 通孝
（東京大学大学院情報理工学系研究科）

味覚を中心とした食体験と感覚情報提示

食は，人間の日常生活の中でも特に重要な意味を持つ．その目的は，エネルギー摂取だけではない．何を食べるか，どのように食べるかということは一種の娯楽であり，文化的要素が含まれている．情報技術の発展により，食の要素のうち，何を食べたか，どこで誰と食べたかなどについては記録が可能になり，それらを再生することで食体験を振り返ることができるようになった．また，食体験の最も重要な要素である「味」については，味覚センサ等の開発によって，高い精度で定量化できるようになっている．その一方で，味を再生・提示する方法として追求されてきたのは調理技術ばかりであり，任意の味を自由に合成できる味覚提示技術については，ほとんど開発がなされてこなかった．

他方，錯覚を利用した感覚情報提示技術が現在注目を集めている．ここでいう錯覚とは，脳内の情報処理メカニズムの特性によって，人間が外界からの刺激を受けた際に，実際にはその刺激の物理特性どおりではない知覚が生じることを意味する．このような知覚特性をうまく利用することで，実際の感覚刺激を忠実に再現して提示しようという従来のアプローチでは提示の難しい現象を提示することも可能になると考えられている．こうした考え方をもとに，近年，錯覚を利用してさまざまな味や食体験を提供する技術が登場するようになってきた．感覚情報提示技術におけるパラダイムの転換によって，はじめて多様な食体験の提示が可能になったと言っても過言ではないだろう．

図 -1　感覚間相互作用を利用した味覚提示装置「メタクッキー＋」

本稿では，錯覚を利用してさまざまな味や食体験を提供する感覚情報提示技術について紹介する．まず，錯覚の一種である感覚間相互作用を利用した感覚情報提示の概念について紹介し，味覚の特性と，味覚以外の感覚が味の知覚・認識にどのような影響を与えるかについて述べる．また，我々が開発した視覚・嗅覚・味覚間の相互作用を利用した味覚提示装置である「メタクッキー＋」（図 -1）[1] を中心に，味覚以外の感覚の影響を利用した味覚・食体験提示技術の動向を述べる．

感覚間相互作用と感覚情報提示

人間は，五感を中心とした複数の感覚を通して環

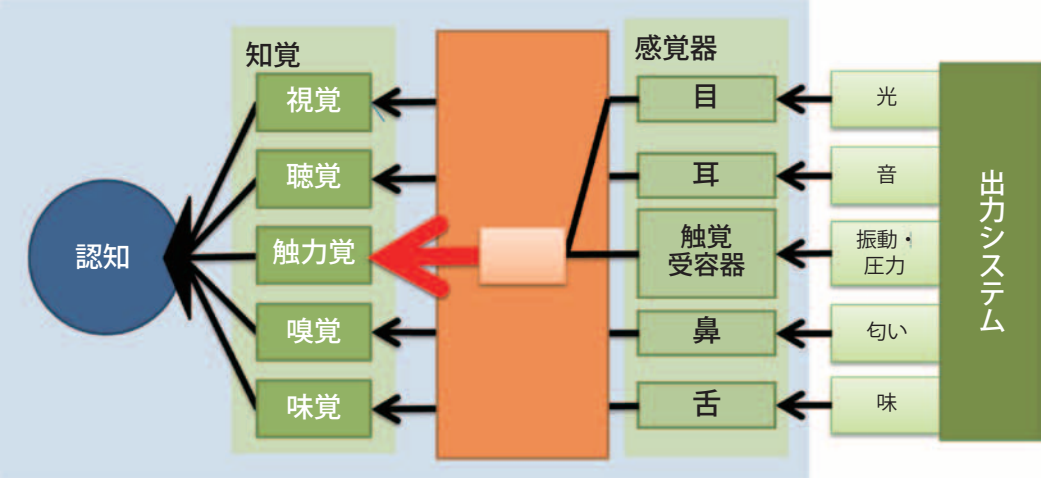

図 -2　擬似触力覚における感覚間相互作用

境を認識している．これまで，バーチャルリアリティをはじめとしたディジタルメディア技術では，対象から得られるさまざまな感覚情報を計測し，その情報を各感覚に対して精度よく再現することで臨場感の高い体験を可能にすることを目指してきた．

視覚・聴覚・触力覚といった物理現象に基づいた感覚については，ある環境下における感覚情報の物理的特性（刺激量，解像度，精度等）を可能な限り模擬して出力することを目指し，4K や 8K の解像度を持つ高精細の映像提示装置，忠実に音場を再現する立体音響装置，PHANToM に代表される触力覚提示装置などが開発されている．しかし，多くの場合，感覚情報の物理的特性を忠実に再現しようとすればするほど，大がかりで複雑なシステムが必要になるという問題がある．また，ある面では，もはや機械で提示可能な物理的特性が人間の感覚情報処理能力を超えており，これ以上感覚情報の物理的特性の忠実な再現を追求しても，臨場感向上に寄与するとは考えにくい．

さらに，嗅覚・味覚といった化学的反応に基づいた感覚では，多様な感覚情報を生成するための手法そのものが明確ではない．あらかじめ用意された匂いや味を提示するシステムは実現されているが，その延長線上に多様な嗅覚体験・味覚体験を提供可能なシステムがあるとは考えにくいのが実情である．

一方で，近年の行動学的研究や脳機能計測技術の進展によって，各感覚モダリティは従来考えられていたほど独立して働いているわけではないことが明らかになってきた．特に，人間にはある感覚の情報から，他の感覚の情報についても補完して認知，解釈する特性があり，そうしたクロスモーダルな錯覚現象が重要な役割を果たしていることが分かっている [2]．このような錯覚現象は感覚間相互作用と呼ばれており，たとえば，視覚刺激によって聞こえる音韻の認識が変化するマガーク効果が有名である．このような現象を活用することで，シンプルな機構をベースとしつつも，複雑な体験を提供可能になると考えられる．感覚間相互作用は，感覚刺激が感覚器によって受容され知覚されるまでの間に無意識的に起こる．そこで，図 -2 中のオレンジ色のボックスの中を適切に制御できるよう感覚情報提示システムを設計することで，感覚間相互作用を利用できるようになると考えられる．

たとえば，マウスカーソルの動きを触れる対象に合わせて変化させると，物体表面の硬さ，テクスチャ，重量感，手の運動感覚などを提示可能であることが知られている．これは，身体動作とそれを反映した視覚刺激の間に齟齬が生じた場合に擬似的な触力覚が生じる現象を利用し，適切な視覚刺激をデザインすることによって，触力覚提示デバイスを用いることなく多様な触覚を提示できる例である．

感覚間相互作用を利用するメリットは，感覚情報

を提示する機構の簡略化だけにとどまらない．最も重要なポイントは，嗅覚や味覚など，メカニズムが複雑で従来的な手法では提示装置の実現が容易ではない感覚に対する情報提示にも応用可能な点である．先に挙げた擬似触力覚の例との対応を考えると，嗅覚情報や味覚情報を提示する際に，異なるモダリティの感覚刺激をうまく設計して提示することで，基となる嗅覚刺激や味覚刺激を変化させずとも多様な匂いや味を感じさせることができると考えられる．

味覚のメカニズムと味にまつわる感覚間相互作用

視覚にとっての RGB のように，味を表現する基底としては，一般に甘味・塩味・酸味・苦味・うま味という 5 種類の基本味が知られている．味成分は，舌の上にある味蕾（みらい）という味細胞の集団の先端で受容体と結合する．いずれの味についてもその受容のされ方は一通りではなく，複数の受容体や複数の情報伝達経路が存在し，それが味の深みやバリエーションに対応していると考えられている．そのため，味覚には，味成分の量と知覚される感覚刺激量の間に非線形な特性が見られる．この非線形性が任意の味を自由に合成できる味覚提示技術の実現を困難にしている．

また，重要な特性として，基本味同士も互いの知覚のされ方に影響を与えるという性質がある．たとえば甘味に少量の塩味を加えると甘味を強く感じる．この現象は，甘味よりも塩味の方が脳に伝達される時間が短いため，その対比効果で甘味をより強く感じるためと説明されている．こうした性質が現れるのは，受容器の反応と味の知覚が必ずしも同義ではなく，味の知覚には高次処理が大きくかかわっているためであると考えられている．

味の知覚に影響するのは基本味ばかりではない．人間は味を舌の上に分布している味覚細胞のみによってだけではなく，実際には味覚以外の数種の感覚を含んだものとして知覚している．この食体験における複合的な感覚は「風味」と呼ばれている．日常生活で使われる「味」はこの風味を指していることが多く，実際これらの要素を切り離して味覚だけを個別に感じ取ることは難しい．

味覚と密接な関係があり，日常生活でもその関係を意識することが多い感覚が嗅覚である．嫌いなものを食べるときによくやるように，鼻をつまんで匂いが分からない状態で食べるとほとんど味を感じなくなるというのがその好例である．逆に，人間は口腔内に匂い刺激を提示されると，そのもの自身が味覚を生じさせない場合でもなんらかの味を感じてしまうという実験結果も報告されている．また，ある種の嗅覚刺激には特定の基本味の知覚を強める効果があることも研究されている [3]．

人間の五感には視覚優位性があることが広く知られており，これまで視覚が「風味」や「おいしさ」に及ぼす効果に関する研究も多くなされてきた．食品の色や見た目が，特定の基本味の知覚に影響を与えるかどうかについては，さまざまな実験がなされているものの結果に矛盾する点が多く見られ，いまだに結論は得られていない．一方，食品の味が何であるかを同定するという，より高次の判断を下す際には，食品の色や見た目が重要な手がかりになっていることが示されている [4]．

風味という観点から考えると，食感，すなわち触力覚が重要な役割を果たしている．食感は基本味の知覚に対してはほとんど影響を与えないが，食体験においては化学的味と同程度に重要視されている要素である．特に固体の食品では，食感を除外して風味を考えることはできない．食品の味を表現する際に「とろとろ」「パリパリ」等，食感を表す擬音語・擬態語がよく用いられることからも，味を認知する高次の情報処理過程で触力覚の影響が強く働くことが予想される．

感覚間相互作用を利用した味覚・食体験提示装置

以上に述べてきたように，化学的組成を変化させてさまざまな味を提示することには現在の技術では

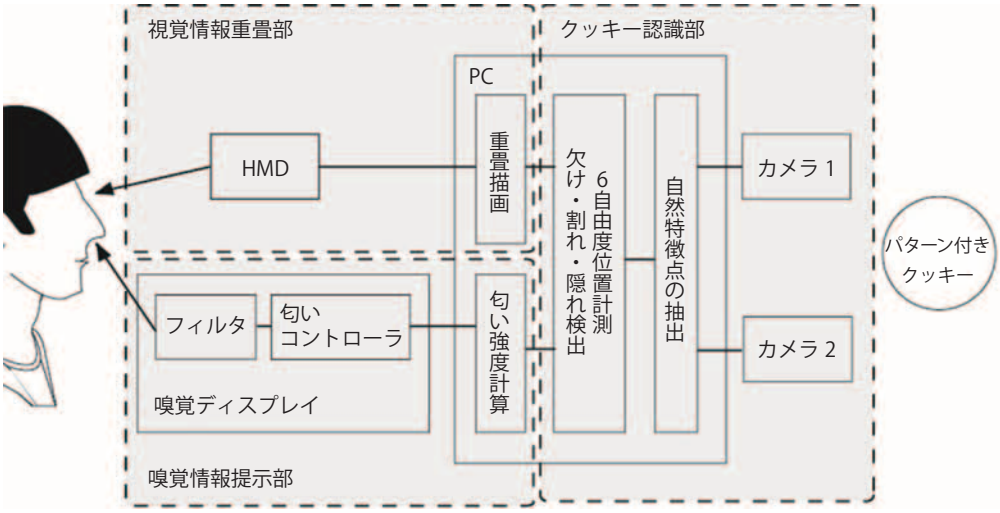

図-3　メタクッキー＋　システム構成

非常な困難が伴ううえ，五味の組成を再現するだけでは食品から受ける味を完全に再現することは難しい．一方，味覚情報とさまざまな多感覚情報が統合されたものとして味が認識されているという特性に着目すれば，感覚間相互作用を利用して多様な味や食体験を提示できる可能性を考えることができる．このような感覚間相互作用を利用するという新しいアプローチによって，味覚以外の感覚の影響を利用して味覚・食体験を提示する技術が登場している．

その1つの例として，食感を合成することで食体験を提示するシステムが挙げられる．食感は物理量に基づいた特性であるため，計測と提示が容易である．そこで食感に関係する物理量を実際に計測し，それを再現することで，実際には何も食べていないにもかかわらず，ある食品を食べる際の食体験を提示するのがこうしたシステムの狙いである．たとえば，筑波大の森谷らの食感提示装置[5]では，特に咀嚼感に注目し，食品の力学的物性の提示を試みている．このシステムでは，食品を咀嚼する際の咬合力を圧力センサで記録し，力覚提示装置によって記録通りの圧力値を再現することで食感を提示している．このような食感提示に加えて，口腔内への味物質の提示，骨伝導スピーカによる咀嚼音提示など，多感覚を利用した食体験の合成に取り組み，それぞれの感覚が食体験においてどの程度重要視されているかを明らかにしている．また，橋本らの吸引感覚提示装置[6]では，食体験の際に発生する吸引感覚（食物をストローで飲む際に口唇や口腔内に伝わる感覚）に着目し，ストロー内の圧力変化を再現し，ストローを震わせて唇に振動を伝えることで食品を吸い込む感覚を再現している．この研究の結果，人間は吸引感覚のみでもどの食品を飲んでいるかをある程度認識可能であり，また，空気のみを吸い込んでいるにもかかわらず，物体が体内に入ったかのような感覚を得られるという知見が得られている．

ある食品を食べたように認識させるために，感覚間相互作用を利用して味覚を提示する取り組みもある．それが，我々が研究を行っている視覚・嗅覚・味覚間の感覚間相互作用を利用した擬似味覚提示装置「メタクッキー＋」である．このシステムは，基本味に対する味覚知覚に強い影響を与える嗅覚刺激と，「食品が何味であるか？」という味の認知に対して影響を与える視覚刺激の影響を利用することで，元となる食品（クッキー）を変化させることなく，チョコレート，アーモンド等数種類の味をユーザに体験させることができる．

システム構成を図-3に示す．このシステムでは，ユーザはHMDにカメラと嗅覚提示装置が取り付けられた装置を装着し，あるパターンが印刷されたクッキーを食する．このとき，カメラで取得した画像をもとに，自然特徴点ベースの物体認識処理によってクッキーの位置・姿勢・状態（割れ・欠け）を認識

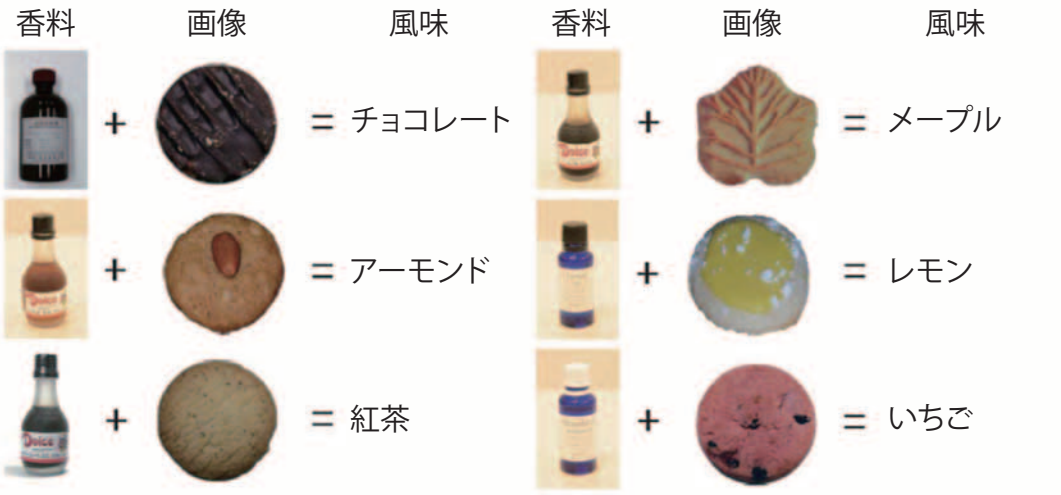

図 -4　特定の味を提示するための香料と画像の組合せ

し，クッキーと体験者の鼻や口との間の距離を計算する．この情報に基づいて，クッキーに視覚情報が重畳される．図 -1 はかじられて欠けたクッキーの上にチョコレートクッキーの画像が重畳表示されている様子である．また，クッキーを食べる前にはクッキーとユーザとの距離に応じた強さの匂いが提示され，クッキーを食べている最中には強い匂いが提示される．ユーザは数種類の味の中から自分の食べたい味を選択でき，選ばれた味に応じて重畳されるクッキーの画像と匂いの種類が切り替えられる．特定の味を提示するための香料とイメージの組合せの例を図 -4 に示す．

この研究の結果，視覚・嗅覚・味覚の感覚間相互作用を利用した場合には，約 7 割のユーザにシステムが狙ったとおりの味を認識させられることが示され，味覚というこれまで多様な刺激の合成が難しかった感覚についても，感覚間相互作用を利用することで，バリエーションのある感覚情報提示ができることが示された．また，味覚の知覚を変化させるには，嗅覚刺激の提示だけでも十分であるという実験結果が得られた一方で，嗅覚刺激だけでは「それが何の味か」という認知を変化させる効果を十分に果たすことはできないという結果も得られており，バーチャルな食体験を提供するには，視覚・嗅覚・味覚の感覚間相互作用を利用する必要があることが確認されている．他方，このようなシステムでは記憶や経験にないような味を認識させることは困難である可能性が示唆されている．その原因としては，味を認識するための要素として記憶や経験が重要な役割を果たしていることが考えられる．

味覚と食体験提示技術の展望

感覚間相互作用を利用して味覚や食体験を提示する技術の研究はまだ始まったばかりである．上で紹介した事例のように，感覚間相互作用を利用した情報提示は，シンプルな機構をベースとしつつ，従来のアプローチでは提示不可能な体験すら提供できる可能性があることが示されはじめている．しかし，事例紹介でも触れたように，感覚情報提示としての効果の評価方法や適用限界についてはまだ議論が残るところである．むろん，感覚間相互作用を利用したアプローチだけですべての体験提示が可能になるわけではないだろう．

近年では 3 次元形状を出力できる 3D プリンタの開発も進んでおり，3 次元的に化学物質を組み立てることで生体組織をつくりだすバイオプリンタの研究等も行われていることから，将来的には食品を 3 次元印刷で作り出す味覚提示装置が実現される可能性もある．このような化学物質から味覚を合成するシステムと，感覚間相互作用を利用した味覚提示

手法を組み合わせることで，化学物質の合成精度以上の味覚表現力を持つ味覚提示装置を作り出すことができるだろう．

味を装置によってコントロールできるようになることで，たとえば味の単調な病院食やダイエット食の味をバリエーションのある味として認識させるといったような展開が考えられる．また，記録された食品をリアルに再現するばかりではなく，味覚提示技術の発展によって初めて作り出すことができる味や食体験というものも生まれてくるだろう．調理による食品の変化を物理的，化学的に解析する分子ガストロノミーの研究によって，食材の魅力を引き出し，料理の美味しさを引き立てるための新しい料理の技が生み出されたように，味覚提示技術が新しい食体験を生み出すためのツールになる可能性も高い．今後，さらなる味覚提示技術が開発され，多角的に人類の食文化の発展に寄与することを期待している．

参考文献

1）Narumi, T., Nishizaka, S., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M. : Augmented Reality Flavors : Gustatory Display Based on Edible Marker and Cross-Modal Interaction, In Proc. of the 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.93-102 (Mar. 2011).
2）Shimojo, S. and Shams, L. : Sensory Modalities are not Separate Modalities : Plasticity and Interactions, Current Opinion in Neurobiology, Vol.11, No.4, pp.505-509 (Aug. 2001).
3）Stevenson, R. J., Prescott, J. and Boakes, R. A. : Confusing Tastes and Smells : How Odours can Influence the Perception of Sweet and Sour Tastes, Chemical Senses, Vol.24, No.6, pp.627-635 (Dec. 1999).
4）Spence, C., Levitan, C., Shankar, M. and Zampini, M. : Does Food Color Influence Taste and Flavor Perception in Humans?, Chemosensory Perception, Vol.3, No.1, pp.68-84 (Mar. 2010).
5）森谷哲朗，矢野博明，岩田洋夫：食味における感触統合に関する研究，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.9, No.3, pp.259-264 (Sep. 2004).
6）橋本悠希，大瀧順一朗，小島　稔，永谷直久，三谷知靖，宮島　悟，山本暁夫，稲見昌彦：Straw-like User Interface：吸飲感覚提示装置，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.11, No.2, pp.347-356 (June 2006).

（2011 年 8 月 1 日受付）

鳴海 拓志　narumi@cyber.t.u-tokyo.ac.jp
1983 年生まれ．東京大学大学院工学系研究科博士課程修了．博士（工学）．現在，同大情報理工学系研究科知能機械情報学専攻助教．バーチャルリアリティ，錯覚を利用した五感インタフェースに関する研究に従事．

谷川 智洋　tani@cyber.t.u-tokyo.ac.jp
東京大学大学院工学系研究科博士課程修了．博士（工学）．TAO 研究員，NICT 研究員，東京大学先端研講師を経て，現在同大学院情報理工学系研究科講師．イメージ・ベースト・レンダリング，MR に関する研究に従事．

廣瀬 通孝（正会員）hirose@cyber.t.u-tokyo.ac.jp
1954 年生まれ．東京大学大学院工学系研究科博士課程修了．工学博士．東京大学工学部講師，助教授，先端研教授を経て，現在，同大学院情報理工学系研究科教授．専門はシステム工学，ヒューマンインタフェース，バーチャルリアリティ．