

## 総説特集：「減塩食品の開発とうま味」

# ARとクロスモーダル効果を用いた減塩化

## ～食品認知工学の展望～

岡嶋 克典

(横浜国立大学 大学院環境情報研究院)

味覚は本来、舌の感覚で決定されるが、食品の見えをリアルタイムに変調するAR（拡張現実感）技術と視覚と味覚のクロスモーダル効果を用いることで、食品自体の塩分量は変化させず食品の見た目を変えるだけで塩味を強調させることに成功した。これは、視覚情報を制御すれば同じ塩味を少ない塩分量で実現できることを意味しており、結果として減塩が可能であることを示唆している。本稿では、心理物理学的手法を用いた代表的なクロスモーダル効果の研究事例を紹介するとともに、ARを用いた減塩手法の有効性について概説する。

キーワード： 拡張現実感、クロスモーダル効果、多感覚、減塩

### 1. はじめに

ヒトは五感（視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚）を通して外界の情報を得ている。これらの感覚器ならびに神経系の情報処理過程はそれぞれ独立であるが、複数の感覚刺激を同時に与えると、単独の感覚だけからでは得られない複雑な感覚や臨場感を生じる。例えば映画は、その映像だけや音響だけで得られる臨場感の総和以上の臨場感を与えるし、そこにさらに触覚や匂いが加われば、そこに実際に存在していると感じられる実在感が非線形的に増大する。このような効果を「マルチモーダル効果」と呼ぶが、特に喫食中は五感をすべて総動員させていることから、食品を味わう際にはマルチモーダル効果を無視できない。例えば、味覚自体はおいしいと感じられる食品でも、見た目が悪かったり、嫌いな咀嚼音だったりするだけで、その食品を食べられない、あるいは食べてもおいしく感じない、ということが生じる。また、ある感覚が別の感覚を変調させてしまうこと

もある。このような相互作用のことを「クロスモーダル効果」と呼ぶ。

AR（拡張現実感）とは Augmented Reality の略で、Mixed Reality（複合現実感、MR）とも呼ばれる技術である。例えば、コンピュータを使って作成したCG（コンピュータグラフィックス）物体を実環境上に重畳することで、実空間を拡張できるという技術である。我々は、この技術をさらに進化させ、実際の食品を別の食品に置き換える（仮装する）DR（Dressed Reality）とも称する独自の技術を開発し、視覚から味覚にクロスモーダル効果を誘起させることで、食品の見た目（視覚情報）を変えて食品の味覚やおいしさを変調させることに挑戦している。例えば、食品の見た目の質感を変えることで食感（しっとり感など）を変えたり、視覚テクスチャを変えることで違う食材として認識させたりできるが、今回、我々は、AR（拡張現実感）とクロスモーダル効果を用いることで、食品の見た目を変えるだけで食品

の塩味を変えることに成功した。これは、実際の塩分量は同じでも、視覚情報でその感覚の強さ(塩味)を変調できることから、見た目の塩味を強調することで、実質的な減塩化を行なえることを示唆している。

## 2. 視覚が聴覚や触覚に与えるクロスモーダル効果

クロスモーダル効果の代表例として、視覚が聴覚に影響する「腹話術効果 (Ventriloquism effect)」と「マガーク効果 (McGurk effect)」<sup>1)</sup>がある。前者は、腹話術師の口から声が出ているにもかかわらず、手に持った、その音声と同期して口が動く人形から声が出ているように感じる現象のことである。この「腹話術効果」のおかげで、テレビや映画等で音源定位が曖昧でも、違和感のない視聴覚コンテンツを楽しむことができる。後者の「マガーク効果」とは、ある音韻の発話の映像(例えばガ/ga/)と別の音韻の音声(例えばバ/ba/)を同時に提示すると、第三の音韻(この場合はダ/da/)が知覚される現象のことである。

一方、視覚が触覚に与えるクロスモーダル効果として、PCの画面を見ながらマウスを一定の速度で移動させているときに、操作者に気が付かれないようにソフトウェアによって画面上のマウスカーソルの移動速度を下げると、触覚的にマウスからの抵抗感が増え、強い摩擦のある机上面を移動しているように感じる<sup>2)</sup>という現象がある。また「大きさ-重さ 錯覚 (Size-weight illusion, 別名 Charpentier effect)」<sup>3)</sup>も有名な視覚と触覚のクロスモーダル効果の1つである。これは、実際の質量が同じでも、視覚的に物体のサイズ(体積)が小さいほうが重く感じるという対比的な錯覚現象である。著者らも、対比的なクロスモーダル効果である「速度-触圧覚錯覚 (Speed-force illusion)」<sup>4)</sup>を発見した。これは、手の平に衝突しようとか向かってくる小球体の視覚的な速度が小さいほど、物理的な触覚刺激が同じでも衝突時に知覚される触圧覚(掌に物体が衝突するとき知覚される撃力の大きさ)が大きいという錯覚現象である。このような心理物理学実験を行う場合、視覚刺激である球体の動きと、触覚刺激である手に加える力を独立に制御する必要があるが、現実の物体ではそのような非現実な状況を設定できな

い。そこで我々は、視覚刺激と触覚刺激を独立に制御可能な球体衝突シミュレータを仮想現実感 (Virtual Reality) を応用して開発し、実験を行なった。視覚刺激としてCRTモニタ上に球体が映像中の掌にあたって跳ね返るCG映像を呈示し、触覚刺激として視覚刺激の衝突と同期させて電動シリンダで実際の実験参加者の掌に力を与えた。実験参加者には、違和感が出ないように自分の手の位置に映像が見えるように鏡を用いて提示したため、リアルな球体衝突を体験できた。触覚刺激(の触圧)は一定にし、視覚刺激として提示される球体の掌への衝突前の速度( $V_{pre}$ )と掌に衝突して跳ね返った直後の速度( $V_{post}$ )を制御した。実験の結果から、衝突前の速度が大きいほど、触圧覚は小さくなるという「対比効果」が生じることが示された。また、衝突前後の速度差( $\Delta V = |V_{post} - V_{pre}|$ )が大きくなるほど、触圧覚  $res$  が小さくなることから、 $res \propto \Delta V^n$  という予測式(ただし、 $n < 0$ )を用いることで、結果を定量的に説明できることを示した。これは、クロスモーダル効果は物理量を使って定式化できることを示唆している。

## 3. 視覚が味覚に与えるクロスモーダル効果

食品や飲料の色が味覚に影響することはよく知られている<sup>5)</sup>が、具体的に色の何がどのように影響しているのかを検討した例はほとんどない。その理由の1つは、味等を変えずに精密に食品の色だけを制御できないためであるが、拡張現実感 (AR) 技術を用いることで、自由に食品の色を設定して実験を行うことが可能となる。我々は、プロジェクションマッピング技術を用いてマーカーレス投影型食品ARシステムを開発し、カステラの色(彩度のみをリアルタイムに変調させたカステラを喫食した際の甘味の変化を心理物理学的に測定した。その結果、彩度の増大に伴い、喫食時の甘味評価が単調に増加することを初めて定量的に示した<sup>6)</sup>。また、HMD(ヘッドマウントディスプレイ)を用いたARシステムを開発し、マーカーレスでケチャップの質感<sup>7)</sup>や寿司のネタ(のテクスチャ)<sup>8)</sup>をリアルタイムに変換させることで、喫食時の食感や美味しさ等を変えられることを実験的に示した。そこで、この手法を応用することで、食品の塩味を変化させ、結果的

## ARとクロスモーダル効果を用いた減塩化

に減塩が可能かを実験的に検討した。視覚刺激としてどのような刺激を強い塩味を予想・誘発させるかが重要となるが、今回は純粋に塩味を強調させるために、大量の塩がばらまかれている様子を塩テクスチャ画像とし、それを食品に重畳させる手法を用いた。

## 4. クロスモーダル効果を用いた減塩化

私たちの食生活において欠かせない塩味は基本味の一つである。塩味があることでより美味しくなる食品は多々あり、ある程度の塩分を摂取する必要がある。その一方で、高血圧や腎臓病などの原因ともなりえる塩分の過剰摂取が問題となっており、減塩が推奨されている。食塩摂取量の基準値<sup>9)</sup>は男性が8g、女性が7gであるが、日本人の1日における食塩摂取量の平均値<sup>10)</sup>は、男性で10.8g、女性で9.2gであるため、約30%の過剰摂取をしているのが現状である。しかし、食事は個人の習慣や嗜好と強く結びついており、健康によいことはわかっているが、美味しくないと食べ続けることは精神的に容易ではないことから、日常生活での減塩は一般に困難である。また、人工甘味料は普及しているが、塩味に関する代替品の開発は技術的に難しいことも、減塩を妨げる要因となっている。そこで本研究では、拡張現実感(AR)を用いて、食品(ポテトチップ)の見た目をリアルタイムに変調させることで、実際以上に塩味を強調させ、結果的に減塩化が実現できるシステムを開発した。

ポテトチップに塩粒のテクスチャ画像をマッピングする/しない、ならびに塩が入った瓶を付置する/しないの計4条件を設定した。実験参加者は計7人(男性4人、女性3人)で、平均年齢は23.7 ± 1.98(歳)であった。実験参加者がHMD(HMZ-T3W、SONY)を装着した状態で、以下の①~③の手順にしたが行われた。

①水を飲む ②皿に提示された食品の塩味を評価 ③喫食して塩味を評価

以上を、視覚刺激の条件を変えて計4回繰り返した。喫食後の「塩画像無・塩瓶無」と「塩画像有・塩瓶無」、及び「塩画像無・塩瓶有」と「塩画像有・塩瓶有」を比較すると、いずれの場合も後者の条件下の方が、塩味評価が高かった。塩味評価の平均値が最も高かったのは「塩画像有・塩瓶有」の条件で

あった。「塩画像無・塩瓶無」と「塩画像有・塩瓶無」の間及び「塩画像無・塩瓶有」と「塩画像有・塩瓶有」の間に有意差が見られた。すなわち、感じる塩味の強さを変えることなく、実際の食品の塩分量を減らすことができることから、無理のない減塩が可能であることを示唆している。

次に、実際に付着する食塩の量を変えた食品を用意し、その付加量と感じる塩味の差の関係から、塩味評価の違いを食塩量に換算するための実験を実施した。その結果、仮に1日に「塩画像有・塩瓶有」の条件で本食品を1日に1袋摂取した場合、感じる塩味の強さを変えずに、最大で約17.2%(日本人男性の1日における食塩摂取量の平均値10.8gから算出)の減塩が可能であることが示された。

海の音が塩味を連想させる効果を用いた研究<sup>11)</sup>同様、塩の視覚情報を与えることで、塩味を連想させることで実際に感じる塩味を強調できたと考えられる。その効果には個人差が大きかったことから、味覚の個人差のみならず、個々人の食習慣も影響していることが考えられる。また、今回は視覚情報の塩味への効果についてのみ検討を行なったが、今回用いたポテトチップス以外の食品も対象とし、うま味や酸味等も変調可能かどうかについても検証を進めていきたい。

## 5. まとめ

視覚情報によって誘発されるクロスモーダル効果の例をいくつか紹介した。また、拡張現実感(AR)技術を用いて食品の見た目を減塩することで塩味が変わるクロスモーダル効果について、塩テクスチャ画像をマッピングすることで塩味をより強く感じ、塩の瓶を付置すると塩味強調効果が強調されることを示し、その減塩効果を定量的に示した。今後は、成人だけでなく子供や高齢者も様々な食事療法を無理なく行える食品ARシステムを開発し、長期的な運用による効果についても検証したいと考えている。情報技術を活用した食品の認知に関する工学的なアプローチである「食品認知工学」は、五感としての「食」の全貌を学際的に探る強力なツールであることから、今後様々な食品等の設計・開発に活用されていくであろう。

岡嶋 克典

## 謝 辞：

本研究の一部は科研費（15H05926）の助成を受けています。

## 文 献

- 1) McGurk H and MacDonald J: Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264 (5588) 746-748 (1976)
- 2) Lecuyer A, Burkhardt J and Etienne L: Feeling bumps and holes without a haptic interface: the perception of pseudo-haptic textures. *CHI '04 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 239-246 (2004)
- 3) Murray D J, Ellis R R, Bandomir C A. and Ross H E: Charpantier (1891) on the size-weight illusion. *Perception & Psychophysics*, 61 (8), 1681-1685 (1999)
- 4) Arai K and Okajima K: Tactile force perception depends on the visual speed of the collision object. *Journal of Vision*, 9 (11), 1-9 (2009)
- 5) Morrot G, Brochet F. and Dubourdiou D: The Color of Odors. *Brain and Language*, 79, 309-320 (2001)
- 6) Nishizawa M, Jiang W and Okajima K: Projective-AR System for Customizing the Appearance and Taste of Food. *Proceedings of 18th International Conference on Multimodal Interaction, MVAR 2016-Article#6*, (2016)
- 7) Okajima K, Ueda J and Spence C: Effects of Visual Texture on Food Perception. *Journal of Vision*, 13 (9): 1078 (2013)
- 8) Spence C, Okajima K, Cheok A D, Petit O and Michel C: Eating with our eyes: From visual hunger to digital satiation. *Brain and Cognition*, 110, 53-63 (2016)
- 9) 厚生労働省：日本人の食事摂取基準（2015年版）
- 10) 厚生労働省：「国民健康・栄養調査」（平成28年）
- 11) Spence C: Auditory contributions to flavor perception and feeding behavior. *Physiology & Behavior*, 107 (4), 505-515 (2012)

## <著者紹介>

岡嶋 克典（おかじま かつのり）

1990年 東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻博士課程修了

1990年 防衛大学校応用物理学教室助手、その後、講師、助教授

1992年 カナダ国立研究所光放射標準測定部門 客員研究員（1993年まで兼任）

2001年 東京工業大学大学院理工学研究科客員 助教授（2003年まで兼任）

2004年 横浜国立大学大学院環境情報研究院 助教授、その後、准教授、教授

2004年 情報通信研究機構（NICT）特別研究員（兼任）

現在 横浜国立大学大学院環境情報研究院 社会環境と情報部門 教授



日本視覚学会（会長）、日本VR学会（VR心理学研究委員会委員長）等を務める

応用物理学会日本光学会奨励賞（1992年）、照明学会研究奨励賞（1996年）、日本色彩学会論文賞（1998年、2016年）、日本官能評価学会優秀研究発表賞（2011年、2013年）等を受賞