



スマートフォンアプリケーションによる食感拡張手法の検討

A Study of Food Texture Modifying Techniques Using Smartphone Applications

溝口泉¹⁾, 梶本裕之¹⁾

Izumi Mizoguchi, Hiroyuki Kajimoto

1) 電気通信大学大学院 情報理工学研究所 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘1-5-1,
{mizoguchi,kajimoto}@uec.ac.jp)

概要: 飲食における咀嚼は飲食物を細かくし嚥下運動を容易にする他に食感や味を楽しむために重要な運動である。現在 XR 分野において視聴触覚を用いた食感の拡張手法が研究されているが、多くの場合専用のデバイスを用いる必要がある。本研究ではスマートフォンを主に使用し、スマートフォンを把持する動作とアプリケーションからの映像・音声を用いて飲食物の食感を変化、拡張させる手法を提案する。

キーワード: 触覚転移, Human Food Interaction, 触覚, 飲食

1. はじめに

飲食は栄養補給としての面以外にも、嗜好品の摂取によって感覚を楽しんだり、儀礼的な食事を行うなど人間にとって重要な活動の1つである。しかしながら大量の飲食や味やバランスの偏った食事は、肥満や糖尿病、痛風などの生活習慣病につながるとされており、早い段階での治療や予防が重要であるとされている。食生活の改善には、食事量の調整や調味料の量、食事のバランスなどを適切にコントロールする必要があるが、習慣となっている生活を変えることは容易で無いことが多い。それに対して、バーチャルリアリティ (以下 VR) を始めとする XR 技術の発展に伴い、飲食や飲食物に対して ICT 技術を用いることで、人と食物のインタラクションを拡張する Human Food Interaction (以下 HFI) と呼ばれる分野が注目を集めている。

HFI に関する研究では、ヘッドマウントディスプレイ (以下 HMD) や AR グラスを用いてユーザの主観的な飲食物の見え目を変化させることで満腹感を高める、病気で制限されている飲食物を食べたように感じさせる、電気刺激等を始めとする味覚ディスプレイを用いて、飲食物の味を濃く感じさせたり塩分量を錯覚させるなど様々な手法が提案されてきている。

本研究では特に咀嚼における食感に着目した。食感は飲食における重要な感覚の1つであり、食べ物の固さ・柔らかさやその変化を楽しむために重要な感覚である他、固さは満腹感への影響が高いとされる咀嚼の回数に関わる重要な要素である。現在までの研究において食感を拡張する手法としては鳴海らの提案した HMD を用いてクッキーの見え目を変化させる Metacookie[1] や拡張満腹感が挙げられる。この研究では、ユーザの持つクッキーのサイズと、把持している手の見え目を主観的に HMD を用いて変化させることで、より大きいクッキーを食べているように感じさせ、満腹

感を変化させることが可能であることを示した。聴覚を利用した例としては小泉らの提案した骨伝導イヤホンにより咀嚼時の音を付加することで飲食物の厚さや鮮度を変化させる ChewingJockey[2] などが存在する。この研究では咀嚼時の音を変化させることで、ポテトチップスの鮮度やビスケットの厚さが変化して感じることを示した。このように視覚や聴覚等とのクロスモーダルにより食感を変化させる手法は多く存在しているものの、触覚を直接的に用いた食感の変化手法はあまり存在していない。間接的に提示する方法としては、提示したい部位の近傍に対し刺激を与えることで感覚を生起させる手法が存在している。喉部分の皮膚を変形させることで嚥下感を提示する Grutio[3] や腹部と背部に振動刺激を与えることで体内での流動感を提示する Vivi-Eat[4] などが提案されているものの食感の提示は行われていない。直接的に食感を提示する手法としてはジャミング効果を使用した固さを変化させられるデバイスを口に含む方法 [5] などが笹川らにより提案されているが、実際に飲食物を摂取しながら使用することは困難である。

本研究では、触覚転移の考え方を利用し、咀嚼と同時にスマートフォンを握りしめることで発生する反力を用いて、咀嚼している飲食物の食感を変化させる手法を提案する。我々は咀嚼と同時に握りしめる動作を行うことで、手の部分に生じる触感と口内での飲食に伴う食感を同時に起こし、結果として食感が増えるのではないかと考えた。現在までの提示方法では、Grutio[3] などのように飲食物の体内での経路の近傍部位に対して刺激を与えることで経路内での感覚と錯覚させていた。これらの手法は有効性が確認されているものの、ウェアラブルな形で装着する必要がある、位置を調整する必要がある問題があり、利便性に欠けていた。本手法は手でデバイスを持つことのみで提示を目指しており、既存の手法に比べ格段に簡便に利用することが可能である。



図 1: 実験用デバイス構成

感覚を同時に提示することで感覚を変化させる手法としては、Villa らの指の中節に対し触覚刺激を提示することで、指先の柔らかさ知覚が変化することを示した研究 [6] などがある。この研究ではモータとベルトにより構成されたデバイスを指の中節に装着し、圧迫、せん断変形刺激を提示することで、装着した指の指先が感じる柔らかさや摩擦感が変化することを示した。その他にも触覚転移の研究として岡野らの手への触覚を足底に提示する研究 [7] や、森山らの指先の触覚を背中に提示する研究 [8] などが存在しているがこれらの研究は手と足底のような比較的近い関係の部位、もしくは身体表面同士での検討が主であり、今回のような身体表面と体内での感覚に対する利用は検討されていない。体内で生じる感覚の提示は、体外に比べデバイスの装着や刺激の方法が難しく、発展途上の技術である。本提案手法が有効に作用した場合、限定的ではあるものの、比較的容易に利用可能な体内感覚の提示手法として利用できる可能性がある。

本稿では提案手法の有効性を確認するため、簡易に評価が可能なプロトタイプアプリケーションを作成した。そして、林檎をテスト対象とした評価実験を実施し、提案手法を使用した場合、食感・味覚に対しどのような影響が生じるかについて検討を行った。

2. 実験用デバイス・アプリケーション

2.1 実験用デバイス構成

図 1 に実験に使用したデバイスの外観を示す。実験用デバイスはスマートフォン (Apple iPhone12 pro max) およびマイコン (ESP32)、マイコンに接続した圧力センサ (FSR400) により構成される。スマートフォン右側面に圧力センサを貼り付け、スマートフォンを把持した際の右手母指球周辺の圧力変化を計測する。スマートフォンとマイコンは Bluetooth LE による無線で接続されており、約 2000gf 程度の圧力がセンサ部に掛かる程度に強く握りしめた際、握りしめ動作として認識する設計となっている。圧力センサは移動可能であり、各被験者の持ち方に合わせ、母指球の位置に合わせて貼り付けて使用する。

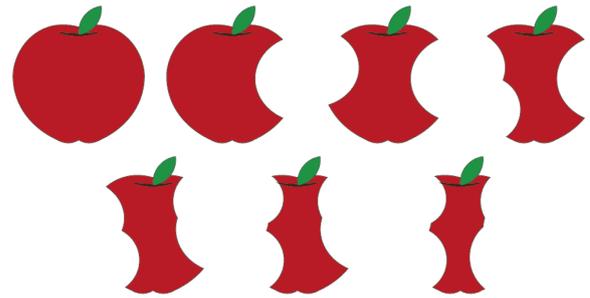


図 2: 表示する林檎の形状変化

表 1: 評価実験アンケート内容

	質問
Q1	林檎の食感の内、固さはどのくらいでしたか？
Q2	林檎の食感の内、柔らかさはどのくらいでしたか？
Q3	林檎の味の内、甘さはどのくらいでしたか？
Q4	林檎の味の内、酸味はどのくらいでしたか？
Q5	手で林檎を食べている・噛んでいる感覚がありましたか？
Q6	口が2つあるような感覚がありましたか？

2.2 実験用アプリケーション

実験用アプリケーションの画面は図 1 左のスマートフォンに表示されているものである。スマートフォンを把持している状態で握り動作を行うことで、リンゴが徐々に齧られていく映像が表示される。表示される映像一覧を以下の図 2 に示す。全 7 段階の映像があり、最後の映像が表示された状態で更に握ると最初の映像に戻ることを繰り返す。握り動作は 1 秒以上の感覚を開けて認識されるようにしており、誤動作による連続での変化等は発生しない。また今回のアプリケーションでは音・振動などの刺激は一切提示せず、画面上の表示のみでの実験とした。

3. 評価実験

実験用デバイスを把持した状態での握り動作の有無が咀嚼時の食感に対して与える影響を調査するため評価実験を実施した。実験では 8 つにサク切りしたリンゴを 2 分割し、片方を実験デバイスなしで食した上で味・食感についてアンケートを取得し、その後デバイスとアプリケーションを用いた状態で食し、更にアンケートを実施した。アンケート内容は以下の表 1 に示す。Q1-4 はデバイスなし、デバイスあり両方で回答させ、Q5,6 はデバイスありの場合のみ回答させた。全てのアンケートは 7 段階のリッカート尺度で設計し、すべての回答を必須とした。また最後に自由コメント欄を設定し、感じたことなどを記入させた。各被験者が食べるリンゴはそれぞれ同一のリンゴから切り出したものを使用し、味・食感には差がないと考えられる。実験の手順は以下の通りである。

1. 分割したリンゴの内片方を食べてもらい、事前アン



図 3: スマートフォン把持姿勢

表 2: 事前・実験後アンケート結果

	設問	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
事前	平均	3.71	3.14	4.71	2.14	N/A	N/A
	SD	1.25	1.35	0.49	0.69	N/A	N/A
実験後	平均	5.43	2.43	4.57	2.00	4.00	2.86
	SD	0.79	1.27	1.13	1.00	2.00	1.68

ケートとして Q1-4 に回答してもらう。

- 図 3 のように持てるよう実験用デバイスの持ち方を確認した後、圧力センサを拇指球の位置に合わせる。
- 実験用アプリケーションの練習として、何も食べていない状態で噛む動作と握る動作を十分に同期して行え、かつアプリケーションがしっかり動作するまで動作を繰り返してもらう。
- 分割したリンゴの残りを口に含み、スマートフォンを見ながら咀嚼と握る動作を同時に行い、任意のタイミングで嚙下してもらう。
- 実験後アンケートとして Q1-6 に回答してもらい、コメントが有る場合は記入してもらう。

実験は嚙下や咀嚼に支障のない健康な男性 7 名を対象として行い、平均年齢は 23.4 歳であった。

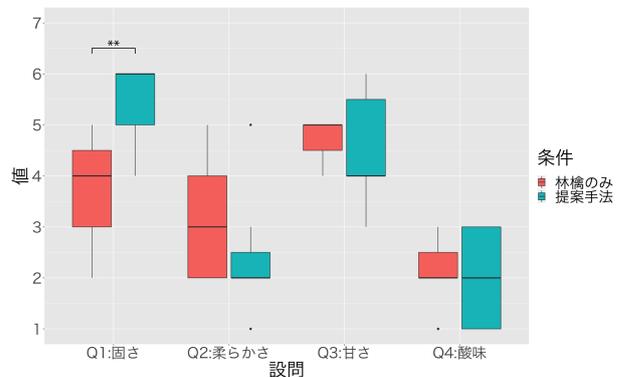
4. 実験結果および考察

実験アンケートの結果を以下の表 2、および図 4-5 に示す。

結果として、固さについては提案手法を用いた場合、有意に差が出ることを示された。Q1, Q2 の結果より、事前のリンゴのみを普通に食べた場合の評価として、固さは中央である 4 以下、柔らかさも同程度の平均値を示しているが、提案手法を用いた場合の評価は、固さについては 5.43 と明らかに固いと言える平均値となっている。柔らかさについても若干ではあるが減少しており、柔らかさが落ちたという変化となっている。特に固さについては被験者 7 名中 6 名

表 3: ウィルコクソンの符号付き順位和検定による味と食感に関する事前と実験後アンケートの検定結果

設問	固さ	柔らかさ	甘み	酸味
p 値	0.031	0.25	1	1

図 4: 食感・味覚に関するアンケート結果 (** $p < .05$)

が増加、1 名は変化なしと回答しており、固さが減少したと回答したものはなかった。ウィルコクソンの符号付き順位和検定で差の有無について検定を行ったところ、固さについては $p < .05$ で有意な差があることが示された。しかしながら柔らかさについては $p=0.25$ と差は見られなかった。この理由としては、今回把持し握り動作を行ったスマートフォンは固いものであり、固さの印象のほうが強く出たために、固さについては強く差が出たのではないかと考えられる。

味についての質問である Q3-Q4 については、事前・実験後で大きな変化は見られなかった。甘さについては事前で 4.71、事後で 4.57 と若干の違いはあるものの誤差の範囲内であった。酸味についても事前で 2.14、事後で 2 と誤差の範囲内であった。Q1, 2 と同様にウィルコクソンの順位和検定による検定を行ったところ p 値はどちらも 1 であり、差は全く無いといえる結果であった。

咀嚼と同時に手で掴む動作を行うため、身体感に変化が出る可能性を考え、手で物を食べた感覚の有無および口が増えたように感じるかについても実験後アンケート調査を実施した。その結果、手で物を噛んでいる感覚については平均で 4 と中央の値であるが、標準偏差が 2 と個人差が激しく、被験者の少なさから考えても殆ど感じられていないと考えられる。また、口が 2 つになったように感じたかについても、平均値で 2.86 と非常に低い結果となっており、身体的には特段の変化は出なかったと考えられる。このことから、身体像の変化を伴う必要はなく、咀嚼と同時に固さのある感覚を提示するというのみで食感を変化させることが可能であるのではないかと考えられる。

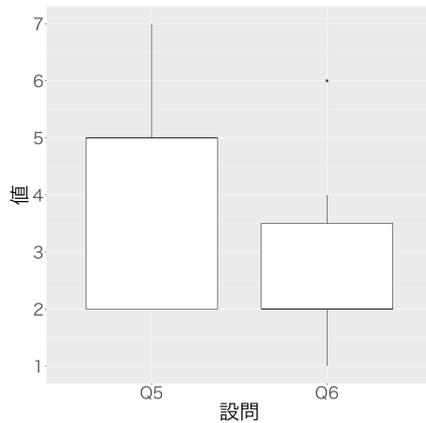


図 5: 手での飲食感に関するアンケート結果

5. むすび

本稿では触覚転移の考え方を利用した、実際の飲食と同時に使用可能な食感変化手法について報告した。実際の咀嚼と同時にスマートフォンを握る動作を行わせることで、被験者 7 名中 6 名が実験で食したリングが固くなったように感じていた。味覚、身体感については変化が見られなかったものの、食感を固くすることにより咀嚼回数の増加やそれによる満腹感などへの影響を期待できる。今後の課題として、咀嚼回数の実際の変化、固さの異なるスマートフォンケース等を用いた食感の変化について調査を行い、食感に対して影響を与えている要素を鮮明にする必要がある。また、今回の時点では単純な映像の提示と握りしめ動作のみの適用であるが、スマートフォンは単体で映像・音声・振動などを出力することができ、特殊なデバイスを用いずとも様々な手法による食感変化を行えることが期待できるため、今後は咀嚼音や提示する映像の変化による複合的なアプリケーションの開発を行いたいと考えている。

参考文献

- [1] Takuji Narumi, Shinya Nishizaka, Takashi Kajinami, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Meta cookie+: An illusion-based gustatory display. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Vol. 6773 LNCS, pp. 260–269. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [2] Naoya Koizumi, Hidekazu Tanaka, Yuji Uema, and Masahiko Inami. Chewing jockey. In *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology - ACE '11*, p. 1, New York, New York, USA, 2011. ACM Press.
- [3] Izumi Mizoguchi, Sho Sakurai, Koichi Hirota, and Takuya Nojima. Grutio: System for reproducing swallowing sensation using neck-skin movement. *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 105297–105307, 2021.
- [4] 加藤愛実. Vivi-eat : 体内での飲食物の流動感提示デバイス. 第 17 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2012, 2012.
- [5] 真奈笹川, 有信新島, 良輔青木, 智樹渡部, 智広山田. ジャミング転移による硬さおよび形状の提示が可能な食感提示システムの提案. *情報処理学会論文誌*, Vol. 60, No. 2, pp. 376–384, 02 2019.
- [6] Steeven Villa Salazar, Claudio Pacchierotti, Xavier de Tinguy, Anderson Maciel, and Maud Marchal. Altering the stiffness, friction, and shape perception of tangible objects in virtual reality using wearable haptics. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 13, No. 1, pp. 167–174, 2020.
- [7] 岡野, 日岐, 広田, 野嶋, 北崎, 池井. 空気圧駆動型デバイスを用いた足裏への触覚提示による物体の位置認識. 第 21 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2016, 2016.
- [8] Taha Moriyama and Hiroyuki Kajimoto. Harvest: High-resolution haptic vest and fingertip sensing glove that transfers tactile sensation of fingers to the back. *Applied Sciences*, Vol. 11, No. 3, 2021.