

誇張した咀嚼運動の映像提示による食感知覚操作に関する基礎検討

鈴木 佑司^{1,a)} 茂山 丈太郎^{1,b)} 吉田 成朗^{1,c)} 鳴海 拓志^{1,d)} 谷川 智洋^{1,e)} 廣瀬 通孝^{1,f)}

概要: 食感はおいしさ知覚にかかわる要素であり、食感拡張のため聴覚刺激や物理刺激を用いる手法が提案されている。本研究では食体験の拡張で有効な視覚刺激を食感知覚操作に適用することを考え、姿勢変化により体性感覚を操作する研究に着目し咀嚼運動時に顔輪郭を変形させ提示するシステムを開発した。検証実験の結果、開口時に横方向縮小変形を加えると噛み応えが増す可能性が示唆され、また咀嚼音提示を組み合わせた際には視覚刺激のみでは強まる硬さや粘着性の知覚が弱まり、対比効果が生じる可能性も示唆された。

キーワード: 食感, 咀嚼運動, 誇張変形

1. 研究の背景

食は衣食住の一角を担い、食を充実させることは質の高い生活を送るうえで重要である。食体験においては、味、見た目などと同様に食感が果たす役割は大きく、近年の調査ではおいしさを表す言葉の上位を食感表現が占めている [11]。その一方、高齢になり口腔機能が低下すると、噛む力が弱まる、入れ歯をするようになるなどの理由により多様な食感に乏しい介護食を食べざるを得ない人が増加する [1]。そこで本研究では食感を拡張する手法に焦点をあてる。

食感の拡張に関する研究では、主に物理刺激と聴覚刺激に注目がおかれてきた。岩田らは食品の咬合時に加わる力を計測し機械的に再現することにより、食事を追体験する Food Simulator を開発した [4]。しかしこのシステムの使用時には実際に食事をすることはできない。また小泉らの Chewing Jockey [6] は、咀嚼音をフィードバックすることによりポテトチップスの新鮮さを強める効果がある。しかし特徴的な咀嚼音が生じる食品に効果が限定されるという問題点がある。

食体験全般の拡張に関する研究においては、視覚を用いる手法が提案されている。鳴海らは食品を持つ手に対する

食品の大きさを変化させ提示することで、食品の大きさ知覚に関する錯覚を生じさせ満腹感を提示するシステムを開発している [7]。そこで食感の拡張に関する問題の解決策として、食体験の拡張において効果がみられる視覚刺激による感覚拡張を適用することを提案する。視覚刺激として食品の外見を操作することが考えられるが、食品自体に変調を加え表示する手法 [10] は効果が小さいとの報告がある。他の視覚情報の利用を考えるため、食感が生じる理由を考察した。食感とは咀嚼運動により食品をかみ砕く際に生じる。そのため咀嚼運動に視覚的変調を加えることによる食感操作の可能性を考えた。視覚情報を用いた身体感覚の操作に関する研究は多数みられる。その中で本研究では、自身の身体の動きを誇張して提示することで重量感を操作する研究 [5] に着目した。この研究では、ダンベルを持ち上げる自身の動きに同期したアバタを見ながら重量挙げ動作を行う際に感じる重量感を評価し、アバタの上半身の傾きやアバタがダンベルを持ち上げる高さを変化させることで、重量感の知覚に変化が生じることを示している。このように身体運動に応じて視覚刺激を与える手法に着目し、咀嚼運動を視覚的に変調させ提示することにより食感知覚操作を行う手法を提案する。本稿では有効な変調方法および聴覚情報を付加した際の相互作用に関する基礎実験の結果について報告する。

2. 提案手法

本研究では咀嚼運動を誇張させ提示し、聴覚刺激も加えることで食感知覚を操作する手法を提案する。本手法では、

¹ 東京大学大学院 情報理工学系研究科

a) ysuzuki@cyber.t.u-tokyo.ac.jp

b) jotaro@cyber.t.u-tokyo.ac.jp

c) shigeodayo@cyber.t.u-tokyo.ac.jp

d) narumi@cyber.t.u-tokyo.ac.jp

e) tani@cyber.t.u-tokyo.ac.jp

f) Hirose@cyber.t.u-tokyo.ac.jp

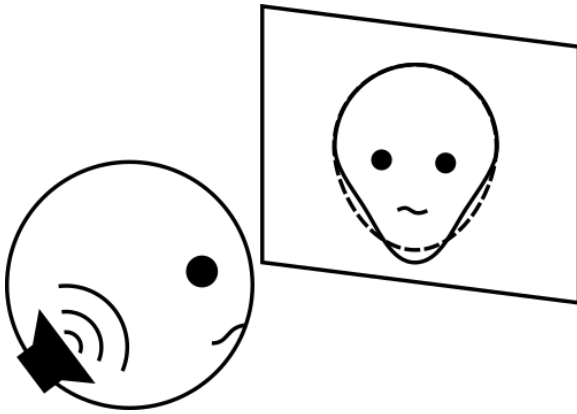


図 1 提案手法の概念図

顔映像から輪郭を抽出し画像処理により咀嚼運動を誇張変形させる。顔輪郭は、webカメラとして Intel RealSense Camera (SR300) を使用し、Intel RealSense SDK で取得できる顔特徴点により形成することとした。咀嚼運動の変調には Zhu らの手法 [9] を用いた。この手法では、変形を制御する制御点を操作することで、メッシュ状に切った対象画像のメッシュ頂点を移動最小二乗法に基づき移動させ、画像の変形を行う。本研究では顔周辺部画像をメッシュ状に切り、制御点として Intel RealSense SDK で取得した特徴点のうち顔輪郭を形成する 17 点を使用する。背景画像の変形を抑えるため、メッシュ外縁頂点を移動させない制御点として追加する。また、食感知覚操作に関する研究では聴覚刺激の有効性が示されている [6]。そこで誇張映像、咀嚼音の提示により食感知覚が変化し、これらの組み合わせによる相互作用が生じるという仮説を立てた。

3. 有効な咀嚼運動誇張方向に関する検討実験

通常自己の顔を見ながら食事をすることはない。また他者が同席する共食時にも他者の顔を見る時間は限られている。そのためどのような顔輪郭の変調が食感知覚操作に有効かは自明ではない。そこでまず食感知覚操作において有効な変調方法を検討する実験を行った。

3.1 システム構成

画像変形処理により顔輪郭を変調させると、周辺空間を構成するメッシュにも影響を与え背景がゆがむため、背景の白い部屋で実験を行い被験者には白いケープを着用させることでゆがみが目立たないようにした。使用した web カメラではデプス情報を取得しカメラ座標系における顔特徴点の位置を取得できるが精度に問題があったため、画面上での位置を使用し変調を加えた。本実験では、映像のうち顔周辺をメッシュ状に切り、閉口時と開口時における顔特徴点の変化量に応じてメッシュ頂点を移動させることにより顔輪郭の変調を行った。

3.2 実験内容

被験者は男性 8 名 (21-23 歳, 平均年齢 21.5 歳) であった。被験者は全員、体調は良好であり口腔内の疾病は見られなかった。

被験者はディスプレイに映された変調を施した咀嚼運動を見ながら食品を食べ、アンケートにより食品を評価する。また映像より咀嚼回数、下顎運動距離、一回の咀嚼にかかる時間を計測した。変調および咀嚼運動の計測は、被験者によるキーボード操作により開始および終了した。評価対象としてグミ (明治 コーラアップ) を使用した。咀嚼運動の変調は、開口時にあごの運動を大きく、または小さく見せるもの、開口時に頬のふくらみを大きく、または小さく見せるもの、無変調の 5 条件とし、各被験者に 1 回ずつランダムな順で提示した。変調量は、事前に違和感を生じない量を検討し決定した。アンケートでは 0-100 のスクロールバーを用い評価させた。アンケート項目にはグミの食感を表すものとして噛み応えを採用し、ダミー項目としてその他 4 項目を回答させた。アンケートの回答後水を飲み口をゆすがせ、次の試行まで 1 分間の休憩をとらせた。また実験終了後に自由記述式のアンケートを実施した。

3.3 実験結果

被験者が回答した噛み応え評価値を示す (図 2)。実験値は各変調条件と無変調条件との差をとり分析を行った。分散分析の結果、有意差は認められなかったが、大きな効果量を得られた ($F(3, 21) = 1.502, n.s., \eta^2 = 0.215$)。また、横縮小変調時に増加する可能性が示唆された。咀嚼回数、下顎運動距離、一回の咀嚼にかかる時間を示す (図 2)。分散分析の結果いずれも有意差は認められなかったが、咀嚼回数で大きな効果量を得られた (咀嚼回数: $\chi^2(3) = 5.260, n.s., r = 0.504$, 下顎運動距離: $\chi^2(3) = 0.750, n.s., r = 0.062$, 一回の咀嚼にかかる時間: $\chi^2(3) = 4.59, n.s., r = 0.479$)。また、咀嚼回数においては横縮小変調時に増加する可能性が示唆された。自由記述式のアンケートにおいては、自分の顔を見ながら食事をすることに対する違和感を訴える回答が複数見られた。

3.4 考察

咀嚼運動において変位の大きい縦方向の変調ではなく、横方向の変調を用いることで食感評価に影響を与えられる可能性が示唆された。噛み応えは咀嚼筋の運動時に感じられるため、口の開閉量である縦方向ではなく、咀嚼筋の緊張、弛緩時に生じる横方向の運動が評価に影響を与えたことが考えられる。実験結果より、有意差は見られなかったが咀嚼回数と噛み応え評価値に大きな効果量がみられた。また横縮小変調において咀嚼回数は増加、噛み応え評価は大きくなる可能性が示唆された。このことから、横縮小変調ではより噛み応えを感じ十分咀嚼しようとし、咀嚼回数

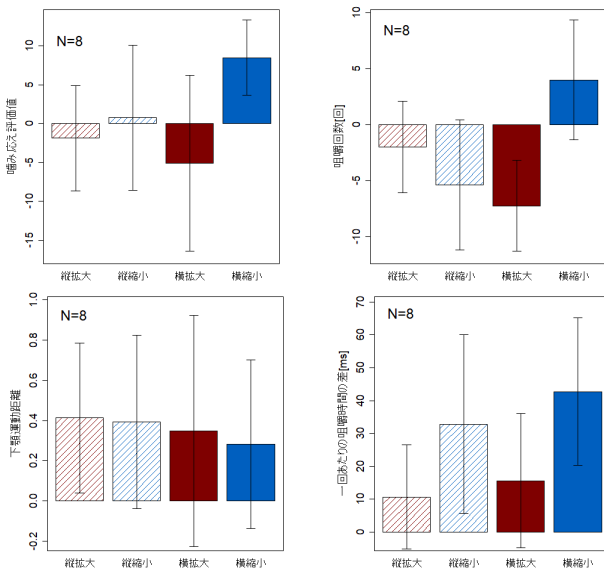


図 2 咀嚼運動変調方向による評価値

が増加したことが推察される。

実験後気づいた点を自由記述式アンケートで回答させたところ、自分の顔をみながら食事をするに対する違和感を訴える意見が複数見られた。自分の顔を見ながらの食事は日常生活ではほとんど体験しないため、本システムに慣れさせることが必要だと考えられる。また、今回の実験では映像の変調を小さく抑え気が付きにくくしたため、認識できない自己の顔の変化に違和感を生じさせたことも考えられる。変調の認識により違和感が低減されるかも検証する必要がある。

噛み応えの評価値についてはどの条件においても平均が 70 を超えており、使用した食品の噛み応えが大きすぎたことや評価方法が適切でなかったことにより条件間の差が適切に表れなかったことも考えられる。VAS における評価基準となる食品を用意し相対的に評価できるようにするなど評価方法を見直し、評価の差を表現しやすくする必要がある。

4. 咀嚼運動の計測

第 3 章の実験では有効な変調方向を調査することを目的とし、変調時に使用するパラメータは自然な変調となるよう適当に決定した。咀嚼運動の計測に関する研究は多数みられるが、その多くは咀嚼サイクルにおける 1 点の 3 次元運動を計測するものであり [2]、提案手法により咀嚼運動を誇張して提示するために必要な顔輪郭全体の運動計測を行った研究は見られない。そこで本章では、咀嚼運動時における正面から見た顔輪郭の運動を計測する。提案手法に計測結果を適用するにあたり、咀嚼 1 サイクルごとの最大変位の予測ができず 3 次元運動を使用することが困難であったため、画像平面上における閉口時の位置と最大変位をとる位置とを結ぶ線分を利用することとした。

4.1 システム構成

提案手法と同じく、Intel RealSense Camera (SR300) を使用し、RealSense SDK で顔輪郭を形成する特徴点を取得した。しかし取得できる特徴点は顔輪郭の凹凸には対応しておらず、顔の形によっては正確に顔輪郭を取得することができない。そこで肌色抽出により顔領域を取得し、領域の境界に合うように特徴点を移動させた。この処理のため被験者には耳と首を覆わせ、背景には青い布を張った。

移動後の特徴点のうち、鼻の下とあご先端部との距離を用い 1 回の咀嚼を判別する。これにより得られる時系列データは、咀嚼 1 回あたり 20 フレーム程度となる。しかし咀嚼運動は一定でなく、プログラムにより取得できる特徴点は完全に時間間隔が等しいわけではない。また口を開く動きから閉じる動きへ移る時点では特に変位の変化量が大きく、咀嚼ごとに得られる最大変位量の差が大きくなってしまった。そのため、3 次スプライン補間により咀嚼 1 回を 32 フレームで表現し、解像度を増し最大変位を観測しやすくした。最終的には、一試行における各特徴点について 1 回ずつの咀嚼で得られる 32 時点中の最大変位を平均し、咀嚼運動における顔特徴点の移動量とした。咀嚼運動においては、左右どちら側で噛むかにより横方向の運動に偏りがみられるため [12]、左右で得られた特徴点最大変位を対応する特徴点で左右の向きを合わせ平均した。

4.2 計測内容

被験者は男性 4 名 (21-24 歳、平均年齢 22.3 歳) であった。被験者にはグミ (明治 果汁グミ (温州みかん)) を試食させ、10 回以上噛むよう指示した。計測は 1 人につき 2 回行った。変位量の計算にははじめの 10 回の咀嚼を使用した。

4.3 計測結果

計測結果を図 3 に示す。口を開く運動に合わせて、顔輪郭を形成する特徴点のうち、頬周辺の点は縦方向には下方へ、横方向には内側へと運動することが観測された。こめかみ周辺の点は、わずかに縦方向には上方へ、横方向には内側へ運動することが観測された。

4.4 考察

横方向の運動では頬周辺部が最大変位を示しており、第 3 章の実験における横方向変調では頬周辺を大きく変調した。絶対変位量の小さい横方向運動の中でも変動が大きい部分を変形させたことにより、咀嚼運動に特有な運動が意識され食感知覚に影響を与えたことが考えられる。また下顎から離れたこめかみの周辺では上方向及び内側への変位が観測された。普段咀嚼時に注視することはないが、こめかみ周辺には側頭筋という咀嚼筋が位置しており、咀嚼時に特徴的な運動であることが示唆される。これより、横方

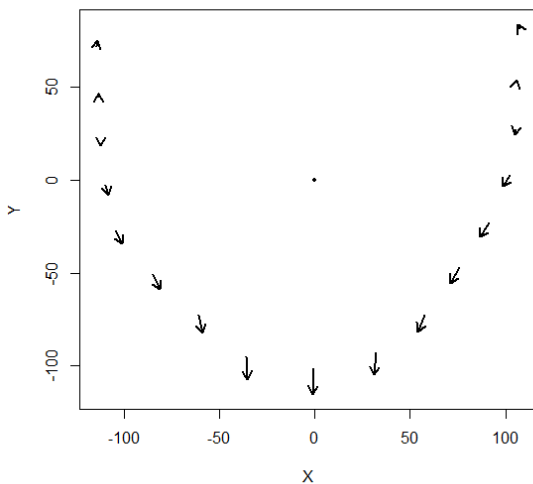


図 3 咀嚼運動の計測結果

向に誇張変調する際にはこめかみの運動も大きな要因となる可能性がある。

5. 提案手法による咀嚼運動の誇張映像および咀嚼音提示の有効性の検証実験

本章では提案手法による食感知覚操作に関して、第4章で計測した咀嚼運動における横方向の運動を誇張することによる効果、および咀嚼音フィードバックとの相互作用について検討する実験を行う。咀嚼音フィードバックのみでは、ポテトチップスやクラッカーなどの、クリスピー、クランチャーな咀嚼音が発生する食品に効果がみられるものの、そのような咀嚼音が発生しない食品に関しては期待される効果が得られていない [6]。また、人工的な咀嚼音を生成しフィードバックする研究 [3] がなされているが、食べている食品からイメージされる咀嚼音とは異なるため、違和感を生じる可能性がある。第3章より、咀嚼運動の変調映像提示を用いることで、クランチャー、クリスピーでなくクチャクチャといった地味な咀嚼音しか生じないグミにおいても食感知覚に作用できる可能性が示された。映像提示と咀嚼音提示を組み合わせることで、顕著な咀嚼音が得られない食品に対しても、自然な咀嚼音フィードバックにより食感知覚操作に効果がみられその効果が増大することが期待される。

5.1 システム構成

被験者は咀嚼音を取得するためにコンデンサーマイク (SONY ECM-TL3) を、咀嚼音を提示するためにイヤホンを装着した。咀嚼音フィードバックは取得した咀嚼音を無加工で提示することで行った。第3章と同様、背景や服、および喉の変形による違和感を低減するため、カメラ背景にプロジェクタースクリーンを配置し被験者には白いケー



図 4 実験環境

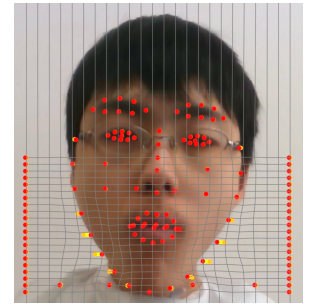


図 5 変調量

プを着用させることでそれらの変形が目立たないようにし、顔映像取得にはデプスカメラ (Intel RealSense (SR300)) を使用した。誇張における変調量は、下顎運動距離の最大変位の個人差による変動を抑えるため、ひとつ前の咀嚼運動における下顎運動の最大変位を用い計算することとする。また、本実験では事前検討の末、映像に破綻が生じない変調量として最大変調量が顔の幅の 5% となるよう設定した。

5.2 実験内容

被験者は成人 13 名 (男性 7 名、女性 6 名、20-44 歳、平均年齢 27.5 歳) であった。被験者は全員、使用したグミに含まれるアレルギー物質 (ゼラチン、牛肉、リンゴ) に対するアレルギーはなかった。また、視力、聴力とも正常であり、口腔内に異常も見られなかった。

被験者はディスプレイに表示された、提案手法を用い誇張変調を施した咀嚼運動を見ながら、また咀嚼音を聞きながら食品を試食し、アンケートにより食品を評価する。また映像より咀嚼回数、下顎運動距離、咀嚼時間を計測した。変調および咀嚼運動の計測は、被験者によるキーボード操作により開始および終了した。評価対象にはグミ (明治果汁グミ (ぶどう)) を使用した。提示条件は、誇張変調の有無、咀嚼音フィードバックの有無の組み合わせによる 2×2 条件とした。提示順全 24 通りのうちランダムで 26 通りを選び、各被験者に 2 通りずつ提示した。アンケートでは、食感として硬さ、弾力性、粘着性を評価項目とし、その他 8 項目を加えた 11 の項目について $-100 \sim 100$ の Visual Analog Scale (VAS) を用い評価させた。食感の評価は個人差が大きくなることが想定されたため、VAS の基準として 2 種のグミ (UHA 味覚糖 ココロ (グレープ)、ノーベル製菓 SOURS (グレープ)) を試食させ、それぞれ -50 、 50 の位置に示し相対評価するようにした。アンケートの回答後水を飲み口をゆすがせ、次の試行まで 1 分間の休憩をとらせた。また実験終了後に自由記述式のアンケートを実施した。

5.3 実験結果

実験時に正常な誇張映像を提示できなかった試行を含む被験者がいたため、正常に映像提示できた 8 名の被験者に

対し分析を行った。以下に食感評価の結果を示す(図6)。分散分析の結果、硬さ、弾力性、粘着性について、誇張変形、咀嚼音フィードバックの主効果に有意差は認められなかった(硬さ:(誇張変調: $F(1, 28) = 0.15, n.s., \eta^2 = .002$, 咀嚼音: $F(1, 28) = 1.04, n.s., \eta^2 = .024$), 弾力性:(誇張変調: $F(1, 28) = 0.21, n.s., \eta^2 = .004$, 咀嚼音: $F(1, 28) = 2.8, n.s., \eta^2 = .042$), 粘着性:(誇張変調: $F(1, 28) = 0.01, n.s., \eta^2 = .000$, 咀嚼音: $F(1, 28) = 0, n.s., \eta^2 = .000$)。交互作用は、弾力性、粘着性においては認められなかった(弾力性: $F(1, 28) = 0.42, n.s., \eta^2 = .003$, 粘着性: $F(1, 28) = 1.36, n.s., \eta^2 = .007$)。硬さでは有意差が認められた($F(1, 28) = 7.94, p < .05, \eta^2 = .073$)が、Holmの多重比較法を適用した結果、有意差は認められなかった。

咀嚼運動の結果を示す(図6)。分散分析の結果、咀嚼回数、下顎運動距離、咀嚼時間について、誇張変調、咀嚼音フィードバックの主効果に有意差は認められなかった(咀嚼回数:(誇張変調: $F(1, 28) = 1.45, n.s., \eta^2 = .003$, 咀嚼音: $F(1, 28) = 1.22, n.s., \eta^2 = .007$), 下顎運動距離:(誇張変調: $F(1, 28) = 1.82, n.s., \eta^2 = .014$, 咀嚼音: $F(1, 28) = 0.70, n.s., \eta^2 = .011$), 咀嚼時間:(誇張変調: $F(1, 28) = 0.59, n.s., \eta^2 = .002$, 咀嚼音: $F(1, 28) = 2.43, n.s., \eta^2 = .029$)。交互作用は、下顎運動距離、咀嚼時間においては認められなかった(下顎運動距離: $F(1, 28) = 1.28, n.s., \eta^2 = .013$, 咀嚼時間: $F(1, 28) = 2.47, n.s., \eta^2 = .013$)。咀嚼回数では有意傾向が認められた($F(1, 28) = 4.36, p < .1, \eta^2 = .011$)。

自由記述式のアンケートでは、食感や味について、咀嚼音を聞きながら食事をするとう変化したように感じたという指摘する記述がみられた。また、グミ以外の食品に対して実験を行った場合、同じ感覚になるのか疑問視する記述もみられた。

5.4 考察

食感評価について、効果量が小さく有効データ数も少ないため、全体の傾向から考察を試みる。弾力性の評価値は、自由記述の回答では咀嚼音により弾力が増したとの意見がみられたが、全体としては咀嚼音フィードバックにより減少する可能性が示唆された。これは、グミの咀嚼音と弾力性との結び付けが得られず、咀嚼音を増強することにより違和感が大きくなり評価が下がったことが考えられる。咀嚼運動に関しては、誇張変形と咀嚼音フィードバックを組み合わせる条件ではわずかに咀嚼回数や咀嚼時間が増加する可能性が示唆された。硬さおよび粘着性の評価値は誇張変調、咀嚼音フィードバックのどちらか一方のみを加えると上昇し、組み合わせると打ち消しあい効果がなくなる可能性が示唆された。

これらのことから、硬さおよび粘着性の知覚に関し、期

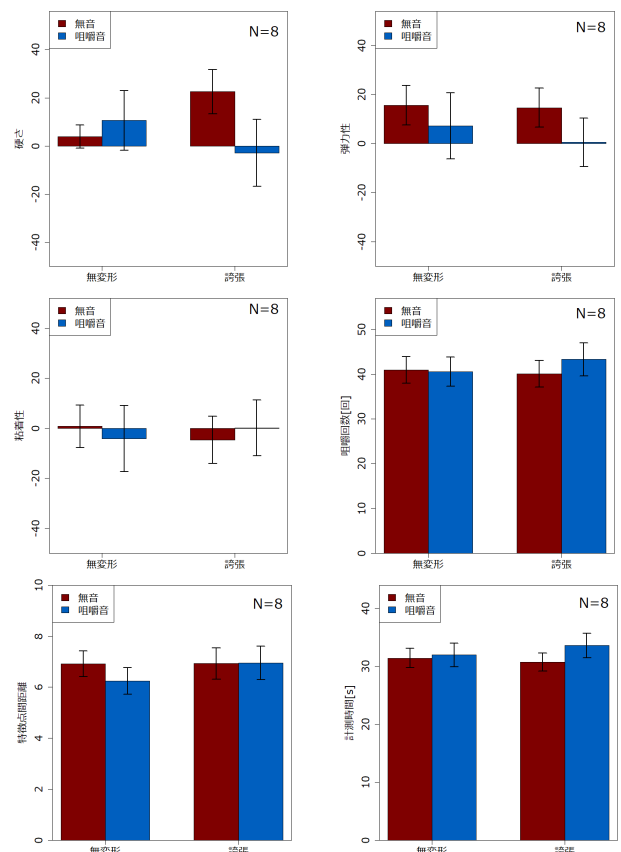


図6 咀嚼運動の変調と咀嚼音提示を組み合わせた際の評価値

待効果における同化だけでなく、組み合わせにより対比の効果が生じたのではないかと考えられる。期待効果における同化とは、予測と実際の知覚の差が縮まる効果であり、対比とは、予測と実際の知覚の差が増幅される効果である。本実験の結果では、同化と対比の両方が観測されている。これを説明するものとして、柳沢らの理論[8]がある。柳沢らの数値計算の結果から、外界からのノイズや知覚時のノイズが一定ならば、今までの経験により学習した物理量の予測と、実際の物理量に対するニューロン発火強度で決まる感覚強度との差 Δ が小さい場合には同化が、大きくなると対比の効果が現れることが示される。この理論より、誇張映像または咀嚼音のみを提示した際には Δ が小さく同化の効果が生じたが、組み合わせで提示した際には Δ が大きくなり対比の効果が生じたのではないかと考えられる。

6. 提案手法による咀嚼運動の誇張映像および咀嚼音提示時における咬合力の計測

対比が起こる現象では筋活動量が増加することが示されている[13]。そこで第5章の結果は、誇張映像と咀嚼音の提示によりよく噛むよう行動に補正がかかるが物理的な硬さは変化しないため、対比によりやわらかく感じたことよるとの仮説を立てた。この仮説を検証するため本章では咬合力を測定し、よく噛むようになり物理指標に変化がみられるかを検証する。

6.1 システム構成

被験者は咀嚼音を取得するためにコンデンサーマイク (SONY ECM-TL3) を着用した。また本実験では聴覚刺激として咀嚼音を提示するためにヘッドホン (RAZER KRAKEN pro) を装着し、マイクは普段咀嚼する際によく使用する側に取り付け、グミを同じ側で咀嚼するよう指示した。また他の実験同様、背景の白い部屋で実験を行い被験者には白いケープを着用させ、顔映像取得にはデプスカメラ (Intel RealSense (SR300)) を使用した。咬合力の測定には圧力センサ (Interlink Electronics FSR400) を使用した。圧力センサはシリコンシート (50×10×3mm) で挟み、ラップを巻き保護した。圧力の検出には Arduino Uno を使用し、取得したデジタルデータを FSR400 のデータシートを参考にし咬合力に変換した。

6.2 実験内容

被験者は成人男性 10 名 (21-24 歳, 平均年齢 22.7 歳) であった。被験者は全員、視力、聴力とも正常であり、口腔内に異常も見られなかった。

被験者は提案手法を用い誇張変調を施した咀嚼運動を見ながら、また咀嚼音を聞きながら 10 回圧力センサを噛み、咬合力を測定される。変調および咬合力の計測は、被験者によるキーボード操作により開始および終了した。その後ダミーとしてアンケートにより食感を評価させた。

提示条件は、誇張変調の有無、咀嚼音フィードバックの有無の組み合わせによる 2×2 条件とした。提示順全 24 通りのうち、各被験者に 6 通りずつ提示した。まず被験者 8 名を 4 名ずつに分け、24 通りを振り分けた、データが取得できない被験者が 2 名みられたため、追加 2 名はこの 2 名に割り当てた順で条件を提示した。

6.3 実験結果

実験値は 10 回の咀嚼における咬合力の最大値の平均をとり、さらに各条件で有効な試行の平均をとり解析した。被験者 10 名のうち、4 名については咬合力の測定値が得られていなかったため、6 名の測定値について解析を行った。また 6 名についても、6 試行について各条件で Smirnov-Grubbs 検定を行い、外れ値とされた値は除外した。途中圧力センサが破損し予備のセンサに取り換えたため、製品の個体差による誤差が出ている可能性がある。また、圧力センサのキャリブレーションをしていないため、算出した咬合力は目安量となる。

分散分析の結果、誇張変調、咀嚼音フィードバックの主効果および交互作用に有意差は認められなかった (誇張変調: $F(1, 20) = 0.73, n.s., \eta^2 = .010$, 咀嚼音: $F(1, 20) = 1.38, n.s., \eta^2 = .029$, 交互作用: $F(1, 20) = 0.49, n.s., \eta^2 = .010$)。

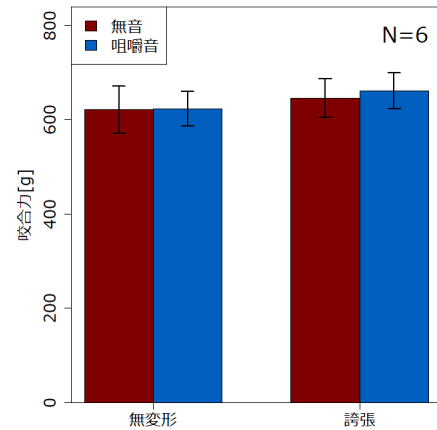


図 7 咬合力の計測結果

7. 考察

有効なデータ数が少なく効果量も小さいため、全体の傾向から考察を試みる。第 5 章の実験では、咀嚼運動の誇張映像、または咀嚼音提示により硬さと粘着性の評価が上昇したが、組み合わせると評価が下がった。この結果を説明するにあたり期待効果における同化と対比の理論をあてはめた。同化が起ると咀嚼運動の誇張映像、咀嚼音から硬さや粘着性を予期しそれらの知覚を増強する。一方で対比が起ると硬さや粘着性を過剰に期待し、期待ほどの感覚入力が得られないためそれらの知覚が抑えられる。この理論では、予測された物理量とニューロンの発火度合いから想定される物理量との差 Δ が小さいと同化が、大きくなると対比が現れることが示されている。本章では同化から対比に期待効果が変わったことを示すため、身体反応の変化を計測した。具体的には咀嚼が過剰になり咬合力が増すことを確かめた。実験より、咀嚼運動における横方向の運動を誇張した映像、または咀嚼音を提示すると咬合力が大きくなり、組み合わせるとさらに大きくなることが示唆された。これより、 Δ が大きくなることで同化から対比へと期待効果が変わった可能性が示唆された。

これまでの実験ではグミを試料として利用したが、本実験では咬合力を計測するためラップで包んだシリコンシートを噛ませた。そのため食感や得られる咀嚼音に相違がみられる。自由記述においても、通常の食事とは異なる感覚を生じたことを指摘する回答がみられた。食品を咀嚼する際の咬合力を正確に測定するためには、咬筋や側頭筋の活動を筋電計で測定する必要があると思われる。

8. まとめと今後の課題

本論文では、視覚情報により食感知覚を変化させる手法の構築を目指した。先行研究では視覚を用い食感知覚を変化させるにあたり食品の外見を操作しているが、本研究では他の感覚で用いられている姿勢を変化させ提示すること

による体性感覚の変化に着目し、咀嚼運動を変調して提示することで食感知覚操作を試みた。

一連の実験では食品としてグミを使用した。その他の食品に対しても適応可能か検証する必要がある。また日常的にディスプレイを見ながら食事をするのではないため、活用できる場が限定される。自分の顔を見る機会はないが、共食の場では他者の顔を見る機会はある。共食の場に限らず、複数の人が集まる場では同調効果がみられ、他者の動作や知覚に合わせるような効果がみられる。これを利用し、他者の咀嚼運動に変調を加えることで他者の知覚を内在化し食感知覚を変化させる手法が考えられる。本研究では自らの顔を見ながら咀嚼させたが、日常的な食事の場では人の顔を注視する場面はあまりない。一方映像作品や、アニメや漫画等のサブカルチャーにおいては、登場人物の食事シーン描写がよく見られる。本研究では現実の運動を誇張することで食感知覚操作を試みたが、このような既存のイメージを用いた変調も考えられる。これらの描写では口を閉じる際に頬が大きく膨らむ動きがみられるため、このような変調を試す価値はあると考えられる。

参考文献

- [1] Colodny, N.: Dysphagic independent feeders' justifications for noncompliance with recommendations by a speech-language pathologist, *American Journal of Speech-Language Pathology*, Vol. 14, No. 1, pp. 61-70 (2005).
- [2] da Cunha, D. V., Degan, V. V., Vedovello Filho, M., Bellomo, D. P., Silva, M. R., Furtado, D. A., Andrade, A. O., Milagre, S. T. and Pereira, A. A.: Real-time three-dimensional jaw tracking in temporomandibular disorders, *Journal of Oral Rehabilitation* (2017).
- [3] Endo, H., Ino, S. and Fujisaki, W.: The effect of a crunchy pseudo-chewing sound on perceived texture of softened foods, *Physiology & behavior*, Vol. 167, pp. 324-331 (2016).
- [4] Iwata, H., Yano, H., Uemura, T. and Moriya, T.: Food simulator: A haptic interface for biting, *Virtual Reality, 2004. Proceedings. IEEE*, IEEE, pp. 51-57 (2004).
- [5] Jauregui, D. A. G., Argelaguet, F., Olivier, A.-H., Marchal, M., Multon, F. and Lecuyer, A.: Toward "Pseudo-Haptic Avatars": Modifying the Visual Animation of Self-Avatar Can Simulate the Perception of Weight Lifting, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 20, No. 4, pp. 654-661 (2014).
- [6] Koizumi, N., Tanaka, H., Uema, Y. and Inami, M.: Chewing jockey: augmented food texture by using sound based on the cross-modal effect, *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACM, p. 21 (2011).
- [7] Narumi, T., Ban, Y., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Augmented perception of satiety: controlling food consumption by changing apparent size of food with augmented reality, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, pp. 109-118 (2012).
- [8] Yanagisawa, H. and Mikami, N.: HOW DOES EXPECTATION CHANGE PERCEPTION?: A SIMULATION
- [9] Zhu, Y. and Gortler, S. J.: 3D deformation using moving least squares (2007).
- [10] 井上亮文, 山崎滉峻, 星徹ほか: 拡張現実感による食品咀嚼回数の増加手法, 研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN), Vol. 2016, No. 35, pp. 1-6 (2016).
- [11] 光岡: おいしいを感じる言葉 Sizzle Word Report 2017, B・M・FT (オンライン), 入手先 (<http://www.bmft.jp/pdf/services/kotoba.pdf>) (参照 2018-04-27).
- [12] 住吉圭太, 小川隆広, 古谷野潔, 築山能大, 末次恒夫: 正常者の咀嚼運動経路に関する研究, 日本補綴歯科学会雑誌, Vol. 39, No. 3, pp. 535-541 (1995).
- [13] 田中俊輔, 大城昌平, 宮下大典, 栗田貴史, 藤野宏紀: 物の持ち上げ動作における視覚情報提示と脳活動および筋活動の変化, 東海北陸理学療法学会大会誌第 27 回東海北陸理学療法学会大会, 東海北陸理学療法学会大会, pp. 62-62 (2011).