

推薦論文

# 拡張現実感を利用した食品ボリュームの操作による満腹感の操作

鳴海 拓志<sup>1,a)</sup> 伴 祐樹<sup>1,b)</sup> 梶波 崇<sup>1,c)</sup> 谷川 智洋<sup>1,d)</sup> 廣瀬 通孝<sup>1,e)</sup>

受付日 2012年6月26日, 採録日 2013年1月11日

**概要:** 本研究では, 拡張現実感を利用することで満腹感の手がかりとなる要因を操作し, 同量の食事から得られる満腹感を操作する「拡張満腹感」システムを提案する. 近年の心理学や行動経済学等の研究の進展により, 食事から得られる満腹感は, 食事そのものの量だけでなく, 照明環境や環境音, 盛りつけや見た目の量, 一緒に食べる人数等, 食事の際の周辺の状況に暗黙のうちに大きく影響を受けることが明らかになってきている. こうした知見に基づき, 食事そのものを変更するのではなく, 満腹感に寄与する要素に対する知覚を変化させることで, 満腹感と食事摂取量の非明示的な操作が可能になると考えた. そこで, 満腹感に影響を与える要素の1つである食品の見た目の量に着目し, リアルタイムに視覚的な食事ボリュームを変化させてフィードバックする拡張満腹感システムを構築した. このシステムでは, デフォーメーションアルゴリズムである rigid MLS method を利用して食品を握る手を適切に変形することで, 手のサイズは一定のまま, 対象となる食品のみを拡大・縮小することができる. 実験により提案システムがユーザの食品摂取量に影響を与えるかを評価したところ, 得られる満腹感はある一定のまま食品摂取量を増減両方向に約 10%程度変化させる効果があるという結果が得られ, 提案システムが無意識的に満腹感を操作し, 食品摂取量を変化させる効果があることが示唆された.

**キーワード:** 満腹感, 拡張現実感, クロスモーダル, 食体験

## Modifying Perception of Satiety by Changing Apparent Food Volume with Augmented Reality

TAKUJI NARUMI<sup>1,a)</sup> YUKI BAN<sup>1,b)</sup> TAKASHI KAJINAMI<sup>1,c)</sup> TOMOHIRO TANIKAWA<sup>1,d)</sup>  
MICHITAKA HIROSE<sup>1,e)</sup>

Received: June 26, 2012, Accepted: January 11, 2013

**Abstract:** In our research, the authors aim to control perception of satiety which is gained from the same amount of food by changing environmental factors with augmented reality technology. Recent psychological and economic studies have revealed that the consumption volume of food is influenced not only by the characteristics of food itself but also environmental factors during eating such as plate size, package size, variety, lighting and socializing. Based on this knowledge, we hypothesized that ambiguous perception of satiety can be applied to control our food intake. We propose a method for modifying perception of satiety and controlling nutritional intake by changing the apparent size of food with augmented reality. We also propose a method for food-volume augmentation using real-time shape deformation. With this method, we can scale food while ensuring that a subject perceives that they were really holding the food. We conducted an experiment on the effect of apparent size on perception of satiety and nutrition intake by using this method. Our results showed that proposed system could change the consumption volume from about minus ten to about fifteen percent by changing only its apparent size without changing perceived fullness.

**Keywords:** perception of satiety, augmented reality, cross-modal, eating experience

<sup>1</sup> 東京大学大学院情報理工学系研究科  
Graduate School of Information Science and Technology, the  
University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113-8656, Japan

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

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

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

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

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

本論文の内容は 2012 年 3 月のインタラクシオン 2012 にて報告され, 同プログラム委員長により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である.

## 1. はじめに

肥満は現代における重大な社会問題である [1]. たとえば, 米国では 3 人に 1 人が BMI 30 以上の重度の肥満であるという統計がある. また, かつては先進国だけの問題とされていたが, 今や発展途上国にも関連のある世界的問題になっている. 肥満は高血圧, 脂質異常症, 糖尿病等の生活習慣病をはじめとする数多くの疾患の要因になる. 日本における死因の第 1 位はがん, 第 2 位は脳卒中, 第 3 位は心臓病であるが, この 2 位と 3 位の疾病は肥満との関連が大きい. こうした病気との関連から, 肥満は努力によって避けることができる最大の死亡リスクであると考えられている.

肥満の主な原因は食生活にある. 肥満の解消には, 運動によってエネルギーを消費するか, 食生活を見直し, 食事を適切にコントロールすることが求められる. 運動を支援する目的では, 多くの研究がなされており, 運動器具の開発のほか, ユーザコミュニティの活性化によって運動を促進する手法 [2], [3] 等が実現され, 実際に運用もされている. 食生活の見直しに関しては, 食べた食事やカロリーを記録するサービス [4] 等が実用化されている. こうしたサービスはユーザの努力を必要とするが, 食生活改善のためのきっかけとなりうるものである. 一方で, 食事中に機能し, 食事をコントロールするような技術は実現されていない.

実際には, 人間が自らの努力によって食事を適切にコントロールすることは容易ではない. この 1 つの理由は, 摂取した食事の重量や栄養価を正確に把握するための仕組みが人体に備わっていないためである. その代わりに, 人間は胃や腸の膨満感や食事の見た目の量, その他多くの手がかりを統合することで, 総合的な「満腹感」を判断している. このとき, 実際の食品の量だけが満腹感の判断の手がかりになるわけではない.

近年の心理学分野等の研究によって, 満腹感の判断は食事の際の周辺状況にも大きく左右されることが明らかになってきた. たとえば皿やスプーンといった食器の大きさ, 盛りつけの量や見た目, だれと食べるか等の要素が, 満腹感に間接的かつ無意識的に影響することが知られている [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25]. こうした周辺状況の影響があるために, ある食事における適切な食事摂取量を, 満腹感を基準として正確に判断し, コントロールすることは容易ではないのである.

一方で, 満腹感が絶対値として評価されるわけではなく, ささまざまな環境情報の影響を受けて相対的に変化するという性質をうまく利用することもできるだろう.

食体験は複数の感覚が相互に影響しあう複雑な知覚から生じる. そのため, あるモダリティに対する感覚刺激が変化しただけで体験全体の印象が大きく変化することがあ

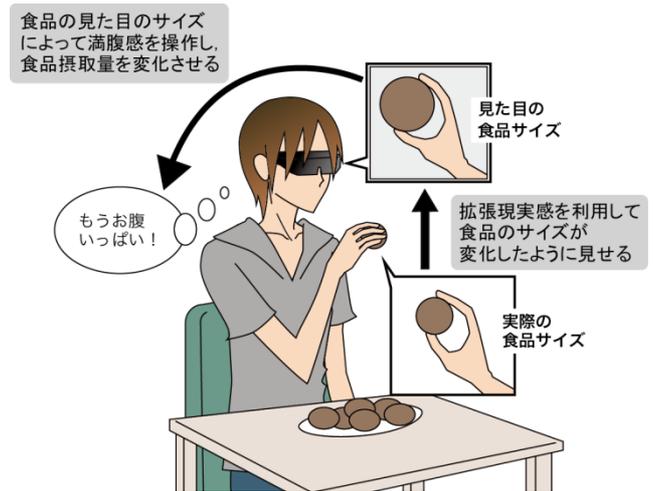


図 1 食品の見た目のボリュームを変化させ満腹感に影響を与える拡張満腹感システムのコンセプト

Fig. 1 Concept of an augmented reality system to modify our perception of satiety by changing apparent food volume.

る. たとえば, 味覚を含む多感覚情報が複合的に「風味」として認知されるという知見を利用し, 食品の化学組成を変化させることなく, 同時に提示する視覚・嗅覚刺激を変化させることで味を変化させる拡張現実感手法が提案されている [5]. また, Koizumi らは, デバイスにより咀嚼を検出し, 食品を噛む際の音を変化させてフィードバックすることで, 食品の食感を変化させる手法を提案している [6].

上記の例のように, 感覚どうしの相互作用を利用すれば, 拡張現実感によって食品の量を判断するうえでの手がかりを適切に操作することで, 食事そのものを変化させなくても, その食事から得られる満腹感を変化させることができると考えられる. そのような手法では, 意識や努力を必要とすることなく食事摂取量の調整が可能になると考えられる.

これらをふまえ, 本研究では, 拡張現実感を利用した満腹感の操作, いわば「拡張満腹感」の実現を目指す. 本論文では, まず満腹感という統合的な知覚に影響を与える諸要因について述べた後, そうした要因の 1 つである食品の見た目の量に着目して構築した, リアルタイムに食品の見た目のサイズを変化させてフィードバックする拡張満腹感システム (図 1) のプロトタイプについて述べる. その後, 提案システムがユーザの食品摂取量に影響を与えることができるかについて評価した実験の結果について報告する.

## 2. 食周辺状況の影響による満腹感の変化

先に述べたように, 満腹感の見積りは, 盛りつけの量, 食器の大きさ, だれと食べるか等さまざまな要素に影響を受けて変化する. これら満腹感を変化させる要因は, 食環境 (ユーザを取り巻く環境) と, 食品周辺環境 (食品の周囲の環境) の大きく 2 つに分類することができる.

満腹感に影響を与える食環境としては, まず, どのよう

な場所で食べるかという雰囲気あげられる。たとえば、気温の低い環境下では、気温の高い環境下に比べてより多くの量を食べるようになる [7]。また、昼光色の明るい照明のレストランよりも、ろうそく等の暖色で暗い照明のレストランの方が、消費する食事が多くなるということが知られている [8], [9]。そのほか、周囲の騒音や音楽が食事に影響するという研究もある [10], [11]。これらの影響は、快適な環境ほど滞在時間が延び、それに従って食事消費の許容量も増大するという因果関係により生じていると考えられている。

第2の食環境要因としては、だれと食べるかという社会的要素があげられる。親密な関係の相手との食事時間は長くなる傾向があるため、それだけ1度の食事で摂取される食事も多くなることが考えられる [12]。一方、親密な相手とではなく、見ず知らずの相手と食事をした場合にも同様の傾向が見られる [13]。これらは、他者がどの程度の量を食べるかを観察することが観察者の満腹感の見積りにとって重要な手がかりになっているためだと考えられている。

満腹感に影響を与える食品周辺環境としては、代表的な要素として、顕著性、多様性、食品のサイズ感、食器の4つがあげられる。

第1の顕著性とは、食品の目に付きやすさや匂い等によって、食品の存在が意識にのぼりやすくなると、その食品を摂食する機会が増え、消費量が増加するというものである。透明な瓶の中にお菓子を入れておくと、不透明な瓶の中に入れておいた場合よりも、一定期間中の消費量が増加するという研究結果 [14] 等の例がある。これは、食品の見た目や匂いが食欲を喚起し、空腹感を生じるためであると考えられており、最近ではそのような因果関係を示唆する生理学的な裏付けも得られている [15]。

第2の多様性とは、同時に提供される食品の味や見た目のバリエーションが多様であるほど、その食事の摂取量が増加するというものである。たとえば、3種の味のヨーグルトを提供した場合、1種だけを提供した場合に加えて平均23%消費量が増加するという実験結果 [16] が得られている。また、味だけでなく、キャンディの色等、味とは直接関係しない要素についても、バリエーションが多様であるほど消費量が増加する傾向が見られることが知られている [17]。この1つの要因としては、バリエーションが増えることで食に対する楽しみが増え、それが満腹感を抑えるためであると考えられている。

第3の食品のサイズ感とは、食品の盛りつけられた量や食品のパッケージのサイズが大きいほど、その食品の1度の消費量が増えるというものである。たとえば、マカロニ等不定形の食品について、一皿に盛られた量が多いほど、そこから取り分けて個人が消費する量が多くなるということが明らかになっている [18]。また、パッケージの中の食品の量

が見えない状態であっても、パッケージの大きさが大きいほど、消費量は増加することが分かっている [19]。こうした現象は3歳程度の児童には見られないことから、サイズ感とそこから得られる満腹感の見積りの関係は、経験によって獲得されるものであることが示唆されている [20]。

第4の要素の食器は、食品とのサイズの比較によって効果を発揮する。この効果はエビングハウス錯視として知られるような、観察対象とその周辺にあるものの大きさの対比による大きさ知覚の錯覚によって生じていると考えられる [21]。たとえば、食品をとりわけの器の大きさが大きいほど消費量が増加する [22]、スプーンの大きさが大きいほど消費量が増加する [23] といったことが明らかになっている。

また、別種の錯覚として、フィック錯視として知られているように、水平な線より垂直な線の方が長く認識されるという現象に基づいて生じる食器の効果もある。この効果は、背が高く細いグラスと、背が低く太いグラスに同量の飲み物を注いだとき、背の高いグラスの方に多く液体が注がれているような視覚的バイアスを生む。そのため、背の低いグラスを使用した場合には飲み物の消費量が増えるということが示されている [24]。

上に述べてきたように、食品から得られる満腹感は多様な要因によって変化する。こうした性質を利用し、錯覚現象を引き起こすことによって、食品の量を判断するうえでの手がかりを適切に操作することができれば、食事そのものの量を変化させることなく、その食事から得られる満腹感を増加させたり、減少させたりすることができ、その結果として食事量のコントロールが可能になると考えられる。

他方、近年さまざまな分野で拡張現実感が注目を集めている。拡張現実感とは、コンピュータで作出力した情報を、現実の環境のコンテキストに即して提示することで、人間の能力や知覚を強化したり変化させたりすることができる技術の体系である。物体認識やリアルタイムCG生成技術等を利用することで、拡張現実感によって食品周辺環境をリアルタイムに変化させてフィードバックすることが可能になり、満腹感を操作できると考えられる。そこで本研究では、拡張現実感を利用した満腹感の操作が可能かどうかを検証するために、まずは最も単純な食状況を仮定し、単一の食品を摂取する1回の食事における満腹感を操作する手法の実現に取り組む。

こうした手法の構築にあたり、先に述べた先行研究等をふまえ、本研究では、満腹感の操作のために利用する食品周辺環境として、食品自身のサイズ感に注目することとした。ここでは、顕著性は食事のきっかけを作り出す要素であり、1回の食事の中の食品摂取量に影響を与えるものではないことから、顕著性は扱わないこととした。また、多様性に関しては、単一の食品のみを利用する場合には、その食品の色や見た目等に関してバリエーションを増大させる

ことはできても、バリエーションを減らすことが難しい。そのため、食品摂取量を増加させる方向での操作が可能になることは予想されるが、食品摂取量を減少させる操作の実現は難しいと考えられる。本研究では拡張現実感を利用した満腹感の操作の可能性を示すにあたり、増減両方向での食品摂取量の操作の実現を目指すこととし、多様性については扱わないこととした。

残りの食品のサイズ感と食器という2つの要素を拡張現実感において利用した場合について比較して検討すると、食品自体を変化させるよりも、食器を変化させる手法のほうが、飲み物等を含む多様な食品に対応しやすいというメリットが考えられる。しかし、先行研究においては、食器が満腹感に与える影響は馴化しやすく、特に家庭等日常的な環境では効果が起こりにくいことが示唆されている [25]。食器の効果が馴化しやすいのは、つねに一定のサイズであることが学習されてしまうためであると考えられている。食品のサイズや形状は、多くの場合、つねに同一とは限らないため、食器に比べて馴化が起こりにくいと考え、本研究では食品のサイズの効果を利用することとした。また、食品自体を物体認識およびリアルタイムな画像処理の対象にすることが、オクルージョンが多く発生する食器等に比べて容易であると考えられることも理由の1つである。

### 3. 食品の見た目のボリュームを変化させる拡張満腹感システム

本章では、拡張現実感による満腹感の操作が可能かを調査するために作成した、食品の見た目のボリュームを変化させる拡張満腹感システムのプロトタイプについて述べる。

本プロトタイプでは、対象となる食品を直接手で握って食べるものに限定することで、食品と身体との相対関係のみが要素として働くよう設計することとした。これは食器等を利用した場合に、満腹感に影響を与える要因が複数現れることで、どのような要素に起因して満腹感が影響を受けたかを評価しにくくなると考えられるためである。この設計方針により、拡張現実感による視覚刺激が満腹感に影響を与えたかどうかを純粋に評価しやすいようにした。

前章で述べたように、サイズ感が知覚され、満腹感に影響を与えるためには、周囲のものと対象となる物体の大きさの相対関係が重要となる。そのため、視野全体を拡大・縮小しただけでは周囲の環境や身体との相対的な関係が変化せず、大きさ知覚の錯覚は生じないと考えられる。すなわち満腹感を操作するためには、対象の食品だけを自然に拡大・縮小させる手法を実現する必要があると考えられる。

そこで、食品の見た目のサイズを拡大・縮小するとともに、その食品を持つ手等、食品周辺の整合性を保つことができる画像処理手法を取り入れた拡張満腹感システムを構築した。



図 2 拡張満腹感システムを利用するユーザ  
Fig. 2 The user wears video see-through HMD and sees the deformed cookie and her hand.

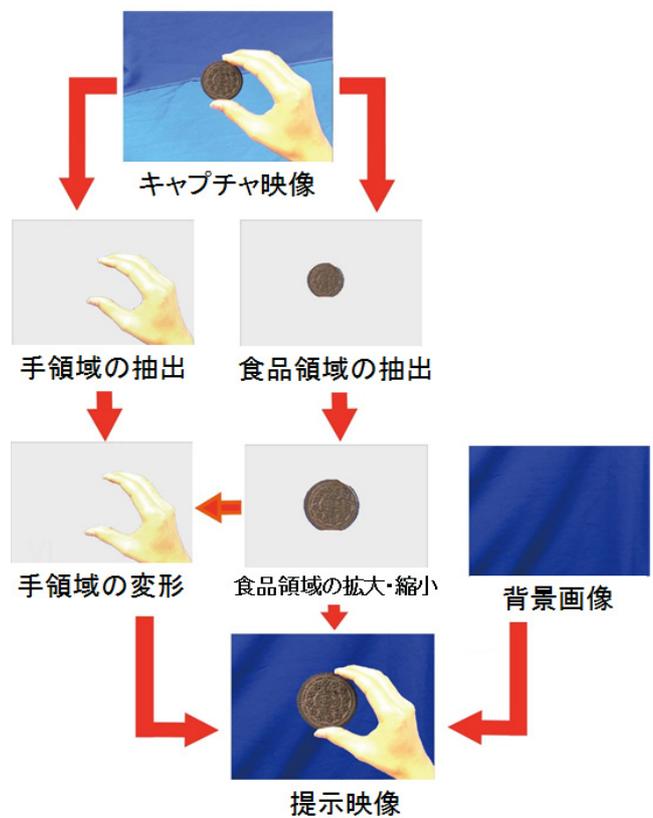


図 3 視覚的に食品サイズを変化させる画像処理の流れ  
Fig. 3 Image processing method for scaling the appearance of food.

#### 3.1 システム概要

提案システムでは、ユーザはビデオシースルー HMD を装着する (図 2)。このとき、ユーザがビデオシースルー HMD を通して見る食品の大きさを変化させると同時に、あたかもその大きさの食品を持っているかのように手を変形させた映像を提示する。これにより、ユーザに、自身が持っている食品の大きさが変わったかのように感じさせる。

提案手法における、食品の大きさを変化させてフィードバックするための画像処理の流れを図 3 に示す。提案手法

では、食品については重心を中心とした単純な拡大・縮小処理を、手指については画像変形アルゴリズムを用いた変形処理を行う。このように食品と手に対して別々の変形手法を適用するのは、単一のアルゴリズムで処理した場合、食品に不自然な変形が生じる可能性があるためである。特に剛性が高くほとんど変形しない食品に対して画像変形アルゴリズムを適用した場合に、食品表面が不自然に歪んでしまい、見た目に強い違和感を生じることがある。そのような手と食品の剛性が大きく異なる場合に起こる不適切な処理を避けるため、図3のような処理を設計した。次節では、この処理の流れに沿って各段階における処理の説明を行う。

### 3.2 食品ボリュームのリアルタイム変換フィードバック

#### A. 食品および手領域の抽出と食品の変形

まず、ブルーバックを用いた色抽出により、キャプチャ映像から食品および手の領域を抽出し、両領域の重心座標を取得する。その後、抜き出した食品領域を、その重心を中心に拡大・縮小し、変形後の食品画像を得る。

本手法はブルーバック環境で使用されることを前提としているが、拡張現実感による満腹感の操作の実現可能性の調査という本プロトタイプ目的においては十分許容できると判断した。今回の実装では、食卓に青いテーブルクロスを使用することでブルーバック環境を作り出した。

#### B. 手画像の変形・重畳

次に、画像変形アルゴリズムを利用して先に取得した手の領域を変形し、変形後の食品を握っているかのような画像を生成する。本システムでは変形対象である手の形が手袋に変化するため、変形対象の輪郭を抽出してそれを基準に領域を変形させるアルゴリズム [26] を用いると、輪郭取得時にノイズが入りやすく、変形後の形も崩れやすくなってしまふ。そのため、本システムでは輪郭情報を用いず、制御点の位置の変化をもとに画像全体を歪める画像変形アルゴリズムである、Schaefer らの rigid MLS method [27] を用いる。

rigid MLS method では、変形結果を得るために、3つ以上の制御点の変形前と変形後の位置を与える必要がある。そこで本手法では、食品をつかむ指と食品との接触点2カ所と、手領域の重心を制御点として利用することとした。

指と食品との接触点については、まず、手領域のうち食品の重心座標  $O_c$  との距離が最も短い点を第1の接触点  $F_1$  とする。続いて、 $F_1$  近辺の点を手領域から除外し、残った領域の中で最も  $O_c$  との距離が短い点をもう1つの接触点  $F_2$  とする。本実装では、自然な手の変形結果を得るために十分に離れた2つの接触点を選ぶ目的から、 $\angle F_1 O_c P$  が80度以内となる点  $P$  の集合を  $F_1$  近辺の点として除外した。食品の大きさの変化に合わせて、図4のように  $F_1$  および  $F_2$  の位置をずらす。変形後の指と食品の接触点位

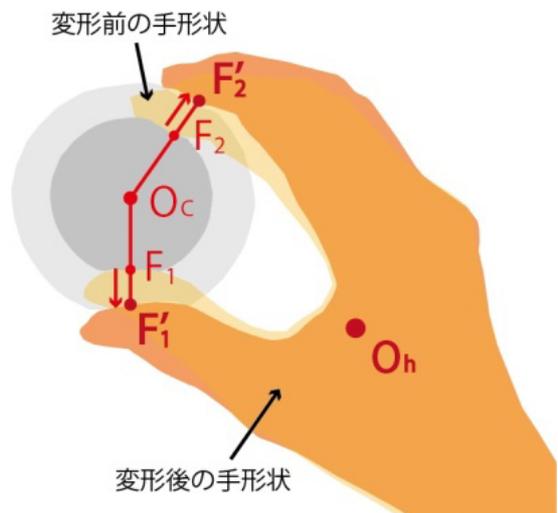


図4 食品および手の変形

Fig. 4 Scaling of food and deformation of hand.

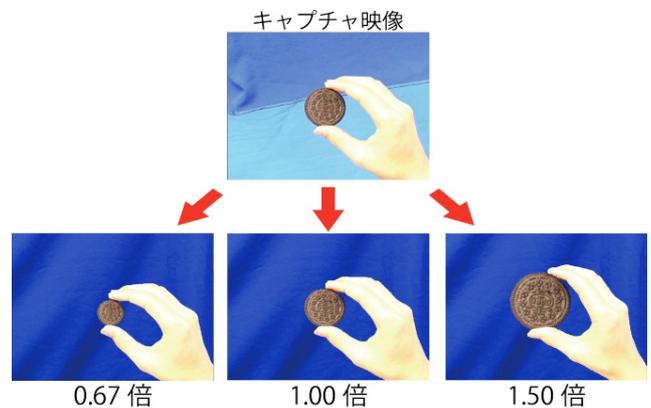


図5 手に持ったクッキーのサイズを変形させた結果

Fig. 5 The result of scaling of food in user's hand.

置を  $F_1'$ ,  $F_2'$  とすると、食品の大きさを  $R$  倍にする場合、

$$F_1 O_c : F_1' O_c = F_2 O_c : F_2' O_c = 1 : R$$

となるよう  $F_1'$  および  $F_2'$  の座標を決定する。

この  $F_1$ ,  $F_2$  と手領域の重心  $O_h$  を変形前の制御点位置、 $F_1'$ ,  $F_2'$ ,  $O_h$  をそれぞれ  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $O_h$  に対応した変形後の制御点位置として用い、rigid MLS method によって手画像を変形する。その後、変形した食品画像、変形した手画像、あらかじめ用意した背景画像を合成し、体験者に提示する。

図5は、手に持ったクッキーのサイズを変形させた結果である。クッキーのサイズを拡大または縮小した場合にも、変形したクッキーを握っているかのような自然な画像が出力されていることが確認できる。また、図6は、図5とは異なる食品に対する本手法の適用例である。図6上段ではベーグルが拡大/縮小されており、下段ではハンバーガのパーティのみが拡大/縮小されている。この例で用いたベーグルは緑がかかった色をしており、図5のクッキー同様色抽出によってきれいに食品領域と手領域を判別するこ

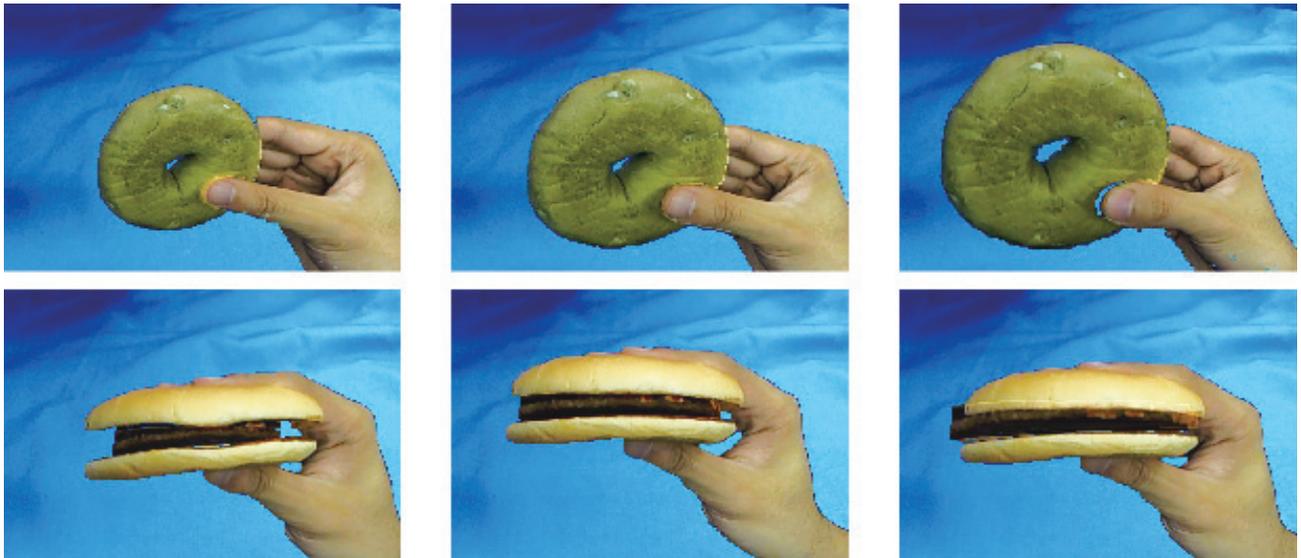


図 6 画像処理の食品への適用例 (左: 縮小 中: 等倍 右: 拡大, 上段: ベーグル, 下段: ハンバーガ)

Fig. 6 Examples of scaled food (Left: Shrunk, Center: Normal, Right: Enlarged, Upper: Bagel, Bottom: Hamburger).

とが可能であった。また、ハンバーガの例に関しては、実際の手の領域に加えて手指と色の近いパンの部分を含めて手領域と判別し、パティ部分のみを色抽出で食品領域と判別することで、パティ部分のみの拡大縮小と、それにともなったパンおよび手指の変形を行い、出力結果を得ている。

これらの画像処理結果が示すように、本手法を応用することでさまざまな固形食品、さまざまな握り方に対応することが可能である。

#### 4. 拡張現実感を利用した食品ボリュームの操作が満腹感に与える影響の評価

3章で構築したプロトタイプを使用し、食品の見た目のボリュームを変化させる拡張現実感が、ユーザの満腹感と食品摂取量に与える影響を評価する実験を行った。

##### 4.1 被験者

実験は12名(男性8名, 女性4名)を対象に行った。被験者の年齢は22歳から36歳までであり, 平均年齢は25.6歳であった。被験者に対しては, 実験に参加する前に, 健康状態, 食事に対するアレルギー, 食事制限, 1日の平均食事回数, ダイエット中かどうか, 直近に落ち込むようなことがなかったか, 妊娠中・授乳中でないかといった, 食事摂取量に影響を与える可能性がある項目について質問紙とインタビューによって調査を行い, 食事摂取量に影響を与えるような問題がないことを確認した。

##### 4.2 実験設定

実験は被験者内計画で行った。本実験では, 別個の3日間を設定し, 被験者を研究室内のブースに招き, おやつを

食べてもらう。このブースには, 青いテーブルクロスが敷かれたテーブルのほかには何も物が置かれていない。そのため, テーブルと自分の身体とおやつのみが被験者の視界に入る環境になっている。このような環境は, 拡張満腹感が実現された際にユーザが実際にシステムを使用するであろう環境とは異なる。しかし, 本実験では拡張現実感による視覚刺激が満腹感に影響を与えることが可能かを純粋に評価するため, 文献 [19] を参考にこのような環境を設定した。

被験者が食べるおやつとしては, ナビスコ社のオレオを使用した。この選定の理由は, 珍しいおやつの場合には, その新奇性から食べることに對して好奇心や抵抗感が働き, 実験の妨げになることが考えられるためである。オレオはだれもが1度は目にしたことがあるおやつであり, 多くの被験者が好奇心や抵抗感なく食べることができると判断した。オレオの元のサイズは直径32 [mm], オレオ1枚あたりの重量は10 [g], カロリ含有量は5.3 [kcal/g] である。

実験では, 提案システムによって提示する食品サイズとして縮小条件 (0.67倍), 通常条件 (1.0倍), 拡大条件 (1.5倍) の3つの条件を用いた。この縮小条件および拡大条件における倍率を設定するにあたって, 被験者3名を対象に視覚情報の変化と手指の自己受容感覚との齟齬から違和感が生じる範囲を調べる簡単な予備実験を行った。この予備実験で得られた手指の自己受容感覚に違和感が生じにくい範囲をもとに, さらに人間の知覚特性であるウェーバー・フェヒナー則を考慮し, 各条件におけるサイズが等比間隔になるようにそれぞれの倍率を設定した。各条件でのオレオの見た目を図5に示す。

3日間設定した各実験日に, 被験者は提案システムを装

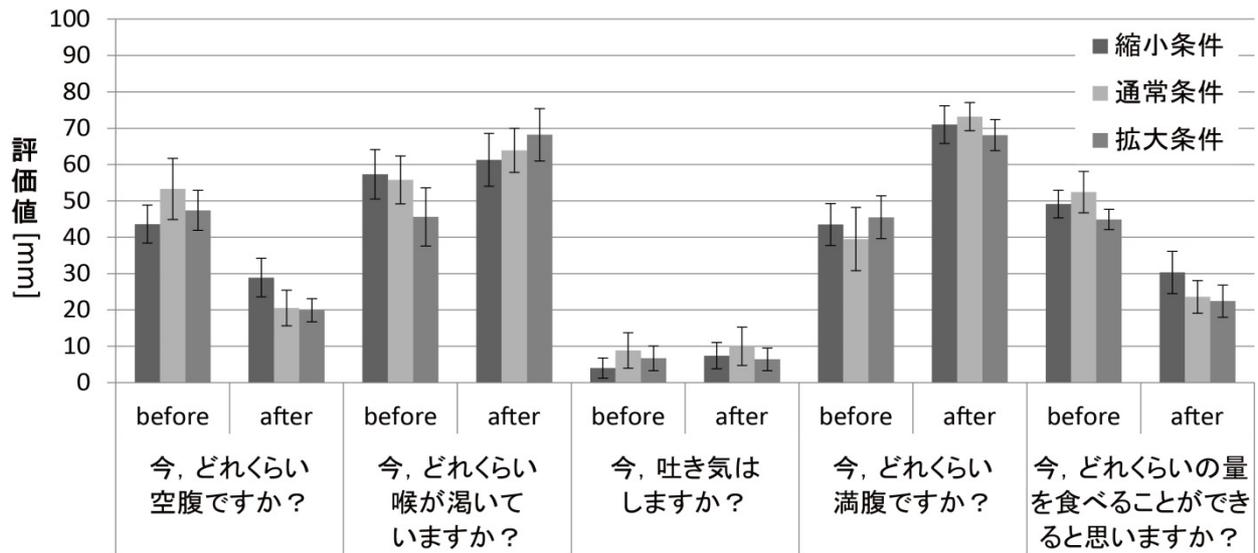


図 7 実験条件ごとの実験前・実験後の空腹度調査の結果

Fig. 7 Ratings of hunger and satiety before and after the testing session in experimental condition.

着し、上記 3 条件の中から選ばれたある条件の下でおやつを食べる。提示順序が結果に影響することを避けるため、この 3 条件を提示する順番に偏りが出ないように、各被験者に対して実験順序を割り当てた。また、おやつに対する飽きの効果を防ぐため、実験は少なくとも 2 日開けるように設定した。

本実験では、提案手法が無意識的に食事摂取量に与える効果を検証するため、被験者に対しては「おやつの効果に関する実験」とのみ教示し、実験の実際の目的に関する告知は行わなかった。

#### 4.3 実験手順

実験をうけるうえでの条件として、被験者には実験 24 時間前から実験時までの間の行動ができるだけ同一になるよう指示をした。また、実験の直前となる食事では、できる限り毎回同じようなものを食べるよう指示をした。加えて、実験直前の 2 時間には何も食べないよう指示をした。

被験者がこれらの指示に従っていたかどうかを確認するため、各実験の前に、直近 24 時間の簡単な活動記録および直近 3 食の食事メニューを記述してもらった。実験者はこの記録をチェックし、直前の食事から 2 時間以上経過しているか、生活パターンや食事に大きな変化が見られないか、徹夜や過度の運動等食事摂取に大きな影響のある行動をとっていないかどうかの 3 点について確認する。その後、後述する空腹度調査についても回答してもらい、実験日間で空腹度に大きな違いがないことを確認する。

これらの事前調査によって、実験を行ううえで問題ないコンディションであると判断された場合にのみ実験を進める。コンディションに問題があると判断された場合には実験を延期し、被験者に実験日を再設定してもらった。

実験ではまず、被験者は制限時間 1 分の間に 100 マス計算を行う。このタスクは、被験者が正しい実験目的を推測することを避けるためのダミータスクである。

その後、被験者に HMD を付けてもらい、おやつを食べてもらおう。その際の条件として、満足するまで食べることを（必ずしも 1 個のクッキーを食べきらず、途中で満足した場合には、食べかけを残してその場で実験を終了すること）、水は好きなだけ飲んでいいこと、クッキーを食べる際にはよく見ながら食べることを（途中までかじって再度かじる場合には、かじる前で見えるところまでクッキーを移動させること）、クッキーは図 5 中のように握ることを指示した。食べる時間については、特に指定を行わなかった。

被験者がクッキーを食べ終わった後、HMD を外し、再度 100 マス計算のタスクを行う。その後、再度実験前と同じ空腹度調査に回答してもらおう。

すべての実験が終わった後には、3 日間の実験の間で気づいた違いについて自由記述で回答してもらった。

#### 4.4 数直線を用いた空腹度調査

被験者には、提案システムを装着してクッキーを食べる前と後に、その時点での空腹度や体調等のコンディションを評価してもらった。すべての質問項目を図 7 中に示す。

評価は、100 [mm] の数直線上に現在のコンディションを矢印で示してもらおう Visual Analogue Scale 法を用いて行った。たとえば、「今どれくらい空腹ですか？」という質問に対しては、「まったく空腹でない」が左端に、「すごく空腹だ」が右端に書かれている 100 [mm] の数直線上に矢印を書くことで回答してもらおう。喉の渇き、吐き気、満腹度に関する質問でも、「まったく～でない」と「すごく～である」を両端に持つ数直線上で評価してもらおう。「今どれ

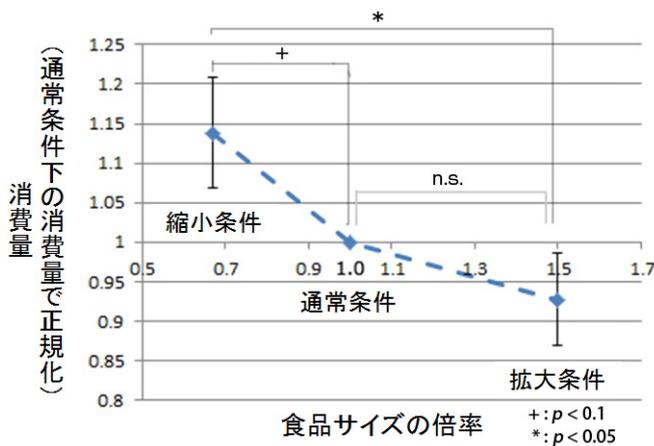


図 8 食品のサイズの倍率と通常条件下での食品消費量で正規化した食品消費量変化率 (平均 ± 標準誤差)

Fig. 8 Amount of cookies consumed ( $\pm$  standard error of the mean) during the experiment by size (Scale factor for visual size of the cookies normalized by original size).

くらの量を食べることができると思いますか？」という質問では、「まったく食べられない」と「大量に」を両端に持つ数直線上で評価してもらう。

実験前の空腹度調査において、これら各項目の評価値が、前回の実験での評価値と比較して数直線上で 30 [mm] 以上異なっている場合には、コンディションに問題があると判断し、被験者に実験日を再設定してもらった。

また、オレオのおいしさ (見た目, 匂い, 味, 食感等の総合評価) についても、同様の数直線で各回評価してもらった。実験において被験者の望まない食品を食べさせるのを避けるため、このおいしさの評価値に 40 [mm] 以下の評価を付けた場合には実験を終了し、その被験者を本実験から取り除く予定であった。しかし、実際には多くの被験者がオレオの味に対して高い評価を付けており、すべての被験者が実験を完遂した。

#### 4.5 実験結果

各条件下における平均消費量および標準誤差は、縮小条件 91.9 $\pm$ 11.0 [g], 通常条件 81.1 $\pm$ 8.0 [g], 拡大条件 75.0 $\pm$ 8.5 [g] であった。図 8 は、通常条件下で食べた量で正規化したクッキーの消費量と、食品のサイズの倍率との関係を示したグラフである。

この実験結果に対し 1 要因分散分析およびボンフェローニ-ホルム法による多重比較を行ったところ、拡大条件では通常条件より平均 9.3%クッキーの消費量が減少しているが、有意な差は見られなかった ( $p = 0.293$ )。一方、縮小条件と拡大条件の間では有意に消費量に差が見られ ( $F(2, 33) = 4.17, p = 0.014$ )、拡張現実感によって視覚的に大きく見せた食品を食べる条件下では、小さく見せた食品を食べる条件下よりも、食品の消費量が減ることが示唆された。また、今回の実験では、拡張現実感によって見

た目のボリュームを縮小した食品を食べる場合には、平均 13.8%クッキーの消費量が増加しており、見た目のボリュームを操作せずに食品を食べる場合よりも多くの量を消費できるようになる傾向が見られた ( $p = 0.097$ )。

すなわち、定型の食品について、拡張現実感によってその食品を視覚的に大きく見せることで、その食品から得られる満腹感を増加させることができ、また、視覚的に小さく見せることで、その食品から得られる満腹感を減少させることができるということが示唆された。水の消費量については、各条件間で有意な差は見られなかった。

図 7 は、実験条件ごとの実験前・実験後の空腹度調査の結果を示したグラフである。実験前の各調査項目の評価値、実験後の各調査項目の評価値については、各実験条件間で有意な差は見られなかった。

実験では、1 名の被験者だけが 1 枚のクッキーを完食する前に、食べかけの状態でも実験を終了した。その他の被験者は全員 1 枚クッキーを完全に食べきる、きりのいいところで実験を終了していた。

#### 4.6 考察

実験前の各調査項目の評価値、実験後の各調査項目の評価値について各条件間で有意な差が見られなかったことから、実験は適切な設定下で行われていたことが保証された。

また、実験後の満腹感に差が見られなかったことから、提案システムによって、食後の満腹感はある程度一定のまま、クッキーを消費した量だけが変化したこと、すなわち、定量のクッキーから得られる満腹感が変化したことが示された。

実験後のアンケートでは、実験日ごとの実験条件の違いに気づいていない被験者が多かった。また、複数の被験者が、「おやつがタスク (100 マス計算) に対する集中力に与える影響を調査するものだと推測した」という記述を残しており、多くの被験者が実験の本来の目的に気づいていなかったと予測される。これらのことから、被験者が食品の見た目のサイズを意識していなくても、提案システムは一定の効果あげることができており、提案システムはユーザの努力や意識を必要とすることなく機能するものと考えられる。

その一方で、拡張現実感で提示したボリュームの変化量が、ユーザが気づかないほど小さいものであったため、満腹感を変化させる手がかりとして十分に効果を果たせなかった可能性もある。特に、この実験では、食器や皿等、食品のボリュームを知る手がかりとなる要素を極力除外し、手との比較以外にクッキーのボリュームを知る手がかりを与えない条件で行った。1 名の被験者が、実験日ごとの実験条件の違いとして、「ビデオシースルー HMD のカメラのズームの倍率が変わっていた」 (= 視野全体の拡大率が変わっていた) と回答していることから、ユーザの手との対比だけでは、本実験で提示したボリュームの変化

量は、食品のボリュームが変化していると知覚されるのに十分ではなかった可能性がある。もし周囲に食品のサイズ感が分かりやすくなる手がかりを与えた場合には、拡張現実感による満腹感操作の効果がより強く現れることが期待される。

また、ほとんどの被験者が、食べかけのクッキーを残すことなく実験を終えている。これは食事を残さず食べるというマナーが、食行動に強く影響を与えているためであると考えられる。こうした影響は、被験者がクッキーを食べた量にも影響していると考えられることから、実際に口にする食品の1枚あたりの重量を本実験とは違う条件に変更した場合、提案手法の効果について、より厳密な評価が可能になる可能性も考えられる。

自由記述では、本システムを利用した際のレイテンシ等について違和感を訴える意見は見られず、実験の様子を撮影したビデオからもユーザが違和感を覚えている様子は観察されなかった。

また、手や指を視覚的に変形してフィードバックした際に、手や指の自己受容感覚について違和感を訴える被験者はいなかった。文献[28]では、物体を触ったときの形状知覚は視覚の影響を強く受けることが示されている。本実験においても、同様の視触覚融合効果により被験者の自己受容感覚が影響を受け、実際とは異なるサイズの食品を握っている映像がフィードバックされているにもかかわらず、大きな違和感は生じなかったのだと考えられる。

## 5. リミテーション

本論文で提案した食品の見た目のボリュームを変化させる拡張満腹感には、現段階ではいくつかのリミテーションが存在する。以下に主要な4つのリミテーションを示す。

第1のリミテーションは、提案手法による食品ボリュームの操作量がある一定を超えると食行動を阻害する可能性があることから、提案手法による極端な食事摂取量変更は難しいと予想されることである。

本論文では食品の見た目のサイズを0.67倍および1.5倍に見せる実験により、食事量を10%前後増減できることを示した。2章であげたような先行研究や本論文における実験の結果をふまえると、提案手法による食品の見た目のボリュームの変化量が大きいほど、満腹感と食事量の変化量も大きくなることが予測される。一方で、食品のボリュームを極端に変化させてフィードバックすると、手や指の自己受容感覚に違和感が生じたり、食品が口に入らなそうに見えたりすることで、食行動が阻害される可能性がある。そのため、提案手法では食行動を阻害しない範囲でしか食品ボリュームを変化させることができず、その範囲に応じて食事量変化量の上限も定まるという制約がある。今後、食行動を阻害しない食品拡大率の範囲を検証し、提案手法による食事量変化量の上限を明らかにする必要がある。

第2のリミテーションは、提案手法は食べ物の見た目のボリュームという視覚情報を利用しているため、ユーザが食べ物を見ずに食べてしまう場合には効果が生じないと考えられる点である。

俗に「カウチポテト」等と称される「ながら食べ」のシチュエーションでは、ユーザは食べ物以外に注目しながら、食べ物を見ずに食べてしまうことが考えられる。こうしたさまざまな食行動に対応した拡張満腹感システムを構築するためには、視覚情報だけでなく聴覚や嗅覚等、強く意識を向けなくても受動的に受容される感覚情報を利用した手法を提案する必要があると考えられる。

第3に、本論文で述べたプロトタイプシステムには、利用できる環境、対象にできる食品に強い制約がある。

プロトタイプシステムの構築にあたっては、食品と身体との相対関係のみを満腹感に影響を与える要素として扱うため、手でつかんで食べることができる固形食品のみを対象とすることにした。そのため、手で直接つかんで食べない食品や飲料を対象としたシステムにはなっていない。この問題に対しては、箸やコップといった食器を形状変形しない部分として定義できるようにし、形状変形しない部分の形状の整合性を保ったまま、食品と周辺環境の相対的サイズ感が変化したように見せることができるようシステムを拡張することで対応可能であると考えている。

また、食品、手、背景の認識に色抽出を利用している。そのため、単一色のテーブルクロスを敷いた環境でなければ使えないという制約がある。また、対象にできる食品は、手やテーブルクロスの色に近い色を含まないものに限られる。この問題に対しては、特徴点ベースの物体認識アルゴリズム[5]や背景補完アルゴリズム[29]を導入することで、本論文での実験環境のような限定された環境だけでなく、さまざまな環境で、さまざまな食品を対象にすることが可能な応用範囲の広い拡張満腹感が実現できると考えている。

第4に、ユーザがHMDを装着しなければならないという制約がある。HMDの小型化・軽量化が進んでいるとはいえ、現状ではHMDの装着はユーザにとって負担が大きい。ユーザの負担軽減を主眼におくと、食品の見た目のボリュームを変化させるために食品自体のサイズを変化させるのではなく、プロジェクションによって皿の大きさが変化したように感じさせる等、ユーザにシステムの装着を強いないシステムへと改良を行う方向性も考えられる。

## 6. おわりに

本論文では、拡張現実感を利用した満腹感の操作、すなわち「拡張満腹感」の実現を目指し、拡張現実感によって食品から得られる満腹感の手がかりとなる要素を操作することで、同量の食事から得られる満腹感を操作することを提案した。この提案手法の具体的な実装として、心理学分野

等における先行研究の知見をふまえ、リアルタイムに食品の見た目のボリュームを変化させてフィードバックする手法を提案し、拡張満腹感プロトタイプシステムを構築した。

このプロトタイプシステムを利用した実験により、拡張現実感によって食品の見た目を大きく見せることで、その食品から得られる満腹感を増加させることができ、また、見た目を小さく見せることで、その食品から得られる満腹感を減少させることができる可能性があることを示した。

本論文は拡張満腹感の実現可能性の検証を目的としたため、実現されたシステムの直接的な応用可能性は必ずしも高くない。今後、5章での検討をふまえ、拡張満腹感の概念を利用可能なシーンを拡大していくことを考えている。

本研究では短期的な効果の検証を行ったが、実用に向けては長期間使用した場合にも提案手法の効果が現れるか、ユーザが本システムの効果を知っている場合にも、知らない場合と同等の効果が現れるか等を検証する必要がある。

また、食品を画像処理によって判別できれば、単純な摂取食事量の調整だけでなく、対象食品のカロリーや含有栄養素を判定したうえで、総摂取エネルギー量や含有栄養素ごとの摂取量を調整する等、より進んだ処理が可能になり、健康増進に役立つシステムが構築できると考えている。

**謝辞** 本研究の一部は JSPS 科研費「若手研究 (A)」(24680012) および独立行政法人科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 (CREST) 「“食” に関わるライフログ共有技術基盤」プロジェクトの支援を受けて行われた。

## 参考文献

- [1] World Health Organization: *Obesity: Preventing and managing the global epidemic*, World Health Organization, Geneva (1998).
- [2] Maitland, J. and Chalmers, M.: Designing for peer involvement in weight management, *Proc. 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*, pp.315–324 (2011).
- [3] Consolvo, S., Everitt, K., Smith, I. and Landay, J.A.: Design requirements for technologies that encourage physical activity, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '06)*, pp.457–466 (2006).
- [4] foo.log: Foodlog, available from (<http://www.foodlog.jp/>).
- [5] Narumi, T., Nishizaka, S., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Augmented Reality Flavors: Gustatory Display Based on Edible Marker and Cross-Modal Interaction, *Proc. 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.93–102 (2011).
- [6] Koizumi, N., Tanaka, H. Uema, Y. and Inami, M.: Chewing jockey: augmented food texture by using sound based on the cross-modal effect, *Proc. 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, No.21, pp.1–4 (2011).
- [7] Brobeck, J.R.: Food intake as a mechanism of temperature regulation, *Yale Journal of Biology and Medicine*, Vol.20, No.6, pp.545–552 (1948).
- [8] Sommer, R.: *Personal Space, The Behavioral Basis of Design*, Prentice-Hall, Englewood Cliff, NJ (1969).
- [9] Lyman, B.: *A Psychology of Food, More Than a Matter of Taste*, Van Nostrand-Reinhold (1989).
- [10] Caldwell, C. and Hibbert, S.A.: The influence of music tempo and musical preference on restaurant patrons' behavior, *Psychology and Marketing*, Vol.19, No.11, pp.895–917 (2002).
- [11] North, A.C. and Hargreaves, D.J.: The effects of music on responses to a dining area, *Journal of Environmental Psychology*, Vol.16, No.1, pp.55–64 (1996).
- [12] Bell, R. and Pliner, P.L.: Time to eat: The relationship between the number of people eating and meal duration in three lunch settings, *Appetite*, Vol.41, No.2, pp.215–218 (2003).
- [13] de Castro, J.M.: Family and friends produce greater social facilitation of food intake than other companions, *Physiology and Behavior*, Vol.56, No.3, pp.445–455 (1994).
- [14] Wansink, B., Painter, J.E. and Lee, Y.K.: The office candy dish: Proximity's influence on estimated and actual consumption, *International Journal of Obesity*, Vol.30, No.5, pp.871–875 (2006).
- [15] Volkow, N.D. et al.: “Nonhedonic” food motivation in humans involves dopamine in the dorsal striatum and methylphenidate amplifies this effect, *Synapse*, Vol.44, pp.175–180 (2002).
- [16] Rolls, B.J., Rowe, E.A., Rolls, E.T., Kingston, B., Megson, A. and Gunary, R.: Variety in a meal enhances food intake in men, *Physiol. Behav.*, Vol.26, No.2, pp.215–221 (1981).
- [17] Kahn, B.E. and Wansink, B.: The influence of assortment structure on perceived variety and consumption quantities, *Journal of Consumer Research*, Vol.30, No.4, pp.519–533 (2004).
- [18] Rolls, B.J., Morris, E.L. and Roe, L.S.: Portion size of food affects energy intake in normal-weight and overweight men and women, *American Journal of Clinical Nutrition*, Vol.76, No.6, pp.1207–1213 (2002).
- [19] Rolls, B.J., Roe, L.S., Kral, T.V.E., Meengs, J.S. and Wall, D.E.: Increasing the portion size of a packaged snack increases energy intake in men and women, *Appetite*, Vol.42, No.1, pp.63–69 (2004).
- [20] Rolls, B.J., Engell, D. and Birch, L.L.: Serving portion size influences 5-year-old but not 3-year-old children's food intakes, *Journal of the American Dietetic Association*, Vol.100, No.2, pp.232–234 (2000).
- [21] Coren, S.: A size-contrast illusion without physical size differences, *The American Journal of Psychology*, Vol.84, No.4, pp.565–566 (1971).
- [22] Wansink, B. and Cheney, M.M.: Super Bowls: Serving bowl size and food consumption, *The Journal of the American Medical Association*, Vol.293, No.14, pp.1727–1728 (2005).
- [23] Wansink, B., Van Ittersum, K. and Painter, J.E.: Ice cream illusions bowls, spoons, and self-served portion sizes, *American Journal of Preventive Medicine*, Vol.31, No.3, pp.240–243 (2006).
- [24] Wansink, B. and Van Ittersum, K.: Bottoms up! The influence of elongation on pouring and consumption, *Journal of Consumer Research*, Vol.30, pp.455–463 (2003).
- [25] Mishra, A., Mishra, H. and Masters, T.M.: The Influence of Bite Size on Quantity of Food Consumed: A Field Study, *Journal of Consumer Research*, Vol.38, No.5, pp.791–795 (2012).

- [26] Igarashi, T., Moscovich, T. and Huges, J.F.: As-rigid-as-possible shape manipulation, *ACM Trans. Graphics*, Vol.24, No.3, pp.1134-1141 (2005).
- [27] Schaefer, S., McPhail, T. and Warren, J.: Image deformation using moving least squares, *ACM Trans. Graphics*, Vol.25, No.3, pp.533-540 (2006).
- [28] Ban, Y., Kajinami, T., Narumi, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Modifying an Identified Curved Surface Shape Using Pseudo-Haptic Effect, *Proc. 2012 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS2012)*, pp.211-216 (2012).
- [29] Herling, J. and Broll, W.: Advanced self-contained object removal for realizing real-time Diminished Reality in unconstrained environments, *Proc. 9th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2010)*, pp.207-212 (2010).

#### 推薦文

インタラクシオン 2012 では、87 名から構成されるプログラム委員会によって投稿数 43 件の中から優秀な論文 18 件を一般講演発表として採択し、インタラクティブ発表は 149 件の投稿から 19 件をファイナリストとして選出いたしました。本論文は、これらの 37 件からさらにプログラム委員会による投票によって、論文誌に推薦すべき論文であるとの評価を得たものであり、論文誌編集委員長としてもぜひ推薦したいと考えました。

(インタラクシオン 2012 プログラム委員長 宮下芳明)



鳴海 拓志 (正会員)

2006 年東京大学工学部システム創成学科卒業。2008 年同大学大学院学際情報学府修了。2011 年同大学院工学系研究科博士課程修了。2011 年より同大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻助教 (現職)。錯覚を利用した五感インタフェース、拡張現実感に関する研究に従事。博士 (工学)。



伴 祐樹

2011 年東京大学工学部機械情報工学科卒業。同年より同大学大学院情報理工学系研究科修士課程在学中。視触覚間相互作用を利用した形状提示手法の研究に従事。



梶波 崇

2010 年東京大学工学部機械情報工学科卒業。2012 年同大学大学院情報理工学系研究科修了。デジタルミュージアムに関する研究に従事。



谷川 智洋

1997 年東京大学工学部産業機械工学科卒業。1999 年同大学大学院工学系研究科機械情報工学専攻修士課程修了。2002 年同大学院博士課程修了。2006 年より同大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻講師 (現職)。イメージ・ベースト・レンダリング、複合現実感に関する研究に従事。博士 (工学)。



廣瀬 通孝 (正会員)

1977 年東京大学工学部産業機械工学科卒業、1979 年同大学大学院修士課程修了、1982 年同大学院博士課程修了。2006 年同大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻教授 (現職)。主にシステム工学、ヒューマンインタフェース、バーチャルリアリティの研究に従事。工学博士。