

## 基礎論文

# 拡張現実感を用いたコップの見かけの大きさ変化による 飲料消費量の調整

鳴海 拓志<sup>\*1,2</sup> 鈴木 瑛二<sup>\*1</sup> 櫻井 翔<sup>\*3</sup> 谷川 智洋<sup>\*1</sup> 廣瀬 通孝<sup>\*1</sup>

## Adjustment of Drink Consumption Based on Augmented Reality

Takuji Narumi <sup>\*1,2</sup>, Eiji Suzuki <sup>\*1</sup>, Sho Sakurai<sup>\*3</sup>,  
Tomohiro Tanikawa<sup>\*1</sup> and Michitaka Hirose<sup>\*1</sup>

**Abstract** --- Recent studies have revealed that consumption of food and beverages is influenced by both its actual volume and external factors during eating and drinking. In this paper, we hypothesized that the augmented reality system which elongate and contract the apparent height of a cup can change our beverage consumption effectively. We conducted two user studies to confirm whether the system can change our drinking behavior and beverage consumption in short and long term. The result of the short-term experiment showed that the amount of one sip became significantly greater when they drank from a visually lengthened cup, and also became significantly smaller when they drank from a visually shortened cup. And the long-term experiment showed that the total amount of consumed beverage in one hour can be modified from about -14% to about 25%.

**Keywords:** Augmented Reality, Human Food Interaction, Volume Perception, Beverage Consumption, Health

### 1 はじめに

肥満人口は世界中で著しく増加している。188 か国のデータをまとめた世界肥満実態によると、2013 年の過体重・肥満人口は世界で 21 億人に達しており、これは 1980 年の 2.5 倍にあたる[1]。また、肥満による健康被害は飢えや感染症を上回っている。これまでは、肥満は富裕国だけの問題と考えられてきたが、今では発展途上国でも大きな問題となっている。特に肥満の増加率が高いのは 2 歳から 19 歳の子供や青年である。この世代では、過体重・肥満の人の割合は 1980 年から 2013 年の間に 1.5 倍という速いペースで増加している。

こうした若年世代の肥満の主な原因の 1 つとして、糖類を多く含む飲料の過剰摂取が挙げられる[2]。世界保健機関は糖類の 1 日の摂取目安を摂取エネルギーの 10%以下とすることを推奨しており、日本人の成人で計算すると 50g~70g 以下が目安となる[3]。これは市販の糖類を多く含む清涼飲料水 500ml 程度に含まれる量に相当する。すなわち、その他の食事から摂取される糖類があることも踏まえると、500ml のペットボトルのジ

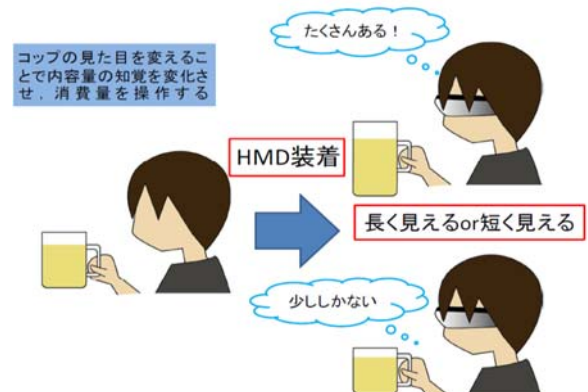


図1 コップの背の高さを変えて見せることで飲料消費量を変化させる AR システム

Fig.1 Augmented Reality System for Affecting Drink Consumption by Changing the Height of a Cup

ュースを 1 本飲みきるだけでも糖類が過剰摂取となる危険が高まる。

一方、飲料を介した糖質の過剰摂取を防ぐ習慣を身につけるには常に強い意志を持つ必要があり、これを継続することは難しい。これに対し、食品の消費量は食品自体だけではなく、飲食品のパッケージや食器の大きさ等の周辺環境にも影響されることを利用し、食周辺環境を操作することで無意識に食生活を改善させるための技術開発が試みられるようになってきた。Narumi らは、拡張現実感(Augmented Reality; AR)によって食品

\*1 東京大学大学院情報理工学系研究科

\*2 JST さきがけ

\*3 電気通信大学情報理工学研究科

\*1 Graduate School of Information Science and Technology,  
the University of Tokyo

\*2 JST Presto

\*3 Graduate School of Informatics and Engineering,  
the University of Electro-Communications

の見た目の大きさのみを変える拡張満腹感システムを開発し、食品の摂取量を増減両方向に操作可能なことを示した[4]. Sakurai らは、テーブルに擬似的な皿を投影し、そのサイズを変更することで、満腹感を調節するシステムを提案した[5]. しかしこれらのシステムは、固体の食品のみに適用可能で、流動的な食品や飲料には応用できない。また、これらの研究では短時間での食事の消費量を計測する実験のみをおこなっており、長時間システムを使用した場合の効果は明らかではない。

そこで本研究では、飲料消費に影響する環境要因のうち、容器の形状が与える影響に注目し、コップの見た目の背の高さを拡張現実感技術によって適切に操作するシステムを提案する(図 1)。本稿では、このシステムが飲料消費量に影響を与えられるか、提案システムが長い時間使われた場合にも効果があるかについて検証した結果を報告し、提案手法の有効性を示す。

## 2 飲料消費量に影響する環境要因

飲料は必ずなんらかの容器から摂取されるため、飲料消費量は容器の影響を受けやすい。人間は無意識に飲料の内容量を推定してから飲むが、この推定に容器の見た目等が大きく影響するためである。例えば、同じ容量を持つコップから飲む場合、細く長いコップから飲むと、太く短いコップから飲むときよりも無意識に多く飲んでしまう[6]。

Raghubir らはこの効果を、人間の体積知覚の特性と期待不一致(expectancy disconfirmation)の組み合わせによるものだと説明している。人間が容器の体積を知覚する際、その容器の鉛直方向の長さ、すなわち高さが大きく影響する。Piaget らによると、小学生までの子供は物体の高さのみで体積を判断していることが明らかになっている[7]。Raghubir らの実験結果は、大人の場合で、さらに日頃よく扱うような物体に対しであっても、体積を判断する上で物体の高さが大きな影響力を持つことを明らかにしたものといえる。

他方、期待不一致とは、事前に形成された期待水準と比較して、期待以上だと満足感が高く、期待以下だと満足感が低くなる心理現象である[8]。期待不一致の有名な例として、大きさ重さ錯覚がある。大きさ重さ錯覚とは、同じ重さの物体を持ったときでも、大きいものほど軽く、逆に小さいものほど重く知覚される現象である。これは物体に対して、大きい物体ほど重く、小さい物体ほど軽い期待が事前に形成され、その期待との不一致を重さとして知覚するために起こる。同様の現象が、飲料を飲む際にも発生する。すなわち、同じ容量のコップから飲む場合でも、背の高いコップは事前に内容量が多いという期待が形成されるため、実際に飲むとその期待との不一致により満足感が低下する。その結果、同一の満足感を得るために必要な量が増加する。背の低いコ

ップから飲む場合は、逆の期待不一致が生じるために消費量が減少する。同様の効果から、一定量を飲んだ後に主観的に消費量を推定させると、背の高いコップから飲んだ場合の方が少なくなることが示されている[9]。これはすなわち、背の高いコップを使って多く飲んでも、主観的にはあまり飲んでいないように感じてしまうということである。

上述の例は既に飲料がコップに注いである場合を扱っているが、自ら注いだ分を飲みきるような状況においては、背の高いコップからの消費量が少なくなる[10]。これは人間の体積知覚の特性から、背の高いコップに入っている飲料は多く見えるようなバイアスがかかるため、実際に注ごうと思った量よりも少なく注いでしまうためである。この現象はプロのバーテンダーでも生じることが分かっている[11]。一方で、他のコップに入っている飲料と同じだけ注ぐように指示すると、それよりも多く注いでしまうという報告もある[12]。これは注目する対象によって、どこに体積知覚のバイアスが生じるかが変化し、結果として効果の現れる方向が逆転しうることを示唆している。ただしこれらは、実際に飲んでいる際の満足感や行動の変化ではなく、飲む前の行動の変化を調べた研究である。最初に自分が注ぐ量を決め、それだけを飲みきるという状況では有効といえるが、実際の食行動では一杯飲みきって満足しない場合には新たに注ぎ足して飲むといった行動が起こる。そのため、長期の消費量を考える上では、飲んでいる間の満足感や行動の変化の影響のほうが強く表れると考えられる。

コップの背の高さ以外の形状要素や、コップの材質が消費量に与える影響は明らかではない。しかし、コップの形によって体積知覚が異なり[13]、複雑な形の容器ほど体積が多く知覚される[14] ことが分かっている。この効果と期待不一致の効果を合わせて考えると、複雑な形状のコップを使うと消費量が増加すると考えられる。また、ガラスやプラスチックといった容器の材質によっても体積知覚が異なるため[6]、容器の質感が消費量に影響する可能性も考えられる。

また、容器の外形は、容器内の見た目の飲料残量を介しても消費量に影響する。Attwood らによると、壁面がまっすぐなコップから飲むと、壁面がカーブしたコップから飲む場合に比べて、飲むスピードが 60%遅くなる[15]。彼らは同時に、それらのコップの内容量の半分まで飲料が入った場合に水面がどこにくるかを被験者に尋ねる実験を行った。その結果、カーブしたコップでは、実際の半分の容量よりも少ない水面位置で半分の容量だと認識していることが分かった。これらの結果を統合すると、形状が複雑な場合にコップの中の残量の推定が不正確になるために消費量に影響が現れると考えられる。一方、この効果はアルコール飲料のみで見られ、ノンアルコール飲料では有意な差は見られていない。こ

の理由として Attwood らは、ノンアルコール飲料よりもアルコール飲料の方が経験的にコップ内の残量に注意を向けるからだと説明している。

他に容器内の残量が消費量に影響を与える例として、Wansink らの Bottomless Bowl の実験がある[16]。テーブル上に置かれたスプーの入ったボウルに、ユーザの目に見えないようにスプーを供給できるシステムを利用して、水位が実際消費した量の60%程度しか減らないように操作されたボウルからスプーを飲むと、通常のボウルから飲む場合と比べて70%ほど消費量が増加する。これはスプーが減っていく見かけの変化量がスプーから得られる満足感に影響を与えるためと考えられる。

他方、コップの重さと飲料消費量の関係についての報告はほとんどない。わずかな例としては、Maggioni らの実験が挙げられる[17]。Maggioni らは、3種類の見た目が同じで重さだけが違うプラスチック製のコップを用いて、被験者に一定量のミネラルウォーターを飲ませ、ミネラルウォーターの満足感や炭酸の度合い、軽さといった項目の主観評価を計測した。その結果、コップが重いほど炭酸が強く感じられ、コップが軽いほど飲料への満足度が上がった。コップの重さが重い方が知覚される体積が大きい[18]ことや、食器が重いほど予想される満腹感が高い[19]といった知見を合わせて考えると、コップの軽さによって内容量の体積の期待が形成され、それとの不一致によって飲んだミネラルウォーターに対する満足感が高まったと考えられる。

また、コップの色も消費量に影響する。Genschow らによると、真っ赤なコップからお茶を飲む場合、真っ青なコップから飲む場合と比べて、消費量が減る[20]。これは赤い色は危険を表す信号として受け取られ、回避行動を促すためだと説明されている。Gueguen らは、一定量のミネラルウォーターを飲んだ後の「どの程度喉が潤ったか」という主観評価を計測し、コップの色が寒色であるほど喉が潤ったと感じられ、逆に暖色であるほど喉が潤されないように感じられるという結果を示した[21]。一方、Ines らの実験では、半透明の灰色のコップと紫色のコップを使用して炭酸水を飲ませた結果、消費量に差はみられなかった[9]。色の持つ他の影響として、コップの色が飲料の風味に影響を与えるということが数多くの研究で示されている[22]。特に、飲料自体の色のイメージが甘い・酸っぱいといった味のイメージと合っていると、その味が増強されるように知覚が変化することが分かっている[23]。これらの知見から、コップの色は飲料の風味に影響を与え、色と風味のイメージが一致しておいしさが向上した場合には消費量が増加することや、色と風味のイメージの差が大きいと違和感から消費量が低減するなどの効果が起こることが予想されるが、これらは依然明らかではないため、検証が必要である。

他方、マルチモーダル・クロスモーダルな影響を引き

起こす感覚情報提示によって、食にまつわる知覚やおいしさ・価値の認知に影響を与える情報技術が近年盛んに提案されてきている。例えば、Narumi らは、着色料およびLEDを用いて飲料に色を付加することで食味認知に変化が起こるかを調査した[24]。この知見を基にクッキーの見た目と香りを変化させることで食味を強く変化させる拡張現実感手法を実現している[25]。また、食品のサイズを変えて見せることで、その食品から得られる満足度を変化させることが可能な手法も開発している[4]。Suzuki らは温度提示によって身体の状態に働きかけることで飲料から感じられる味とおいしさを操作可能であることを示した[26]。Koizumi らは、咀嚼を検出して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[27]。中村ら[28]や櫻井ら[29]は、飲料に電気を流すことによって、味を変化させるシステムを提案している。

これらを踏まえ本研究では、ARを活用して、飲料消費量に影響を与える環境要因を変化させることで、飲料消費量を調整することを狙う。特にコップの高さが飲料消費量に強く影響するという効果を利用することとし、コップの見かけの高さを変化させることで飲料消費量に影響を与える手法を検討する。

### 3 コップの見かけの高さを変化させる AR システム

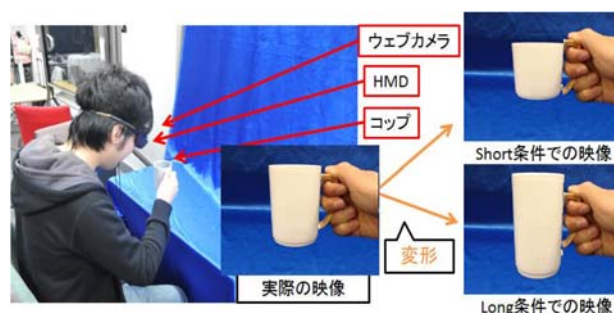


図2 システム構成と動作

Fig.2 Configuration and Behavior of the System

2章での検討を踏まえ、ウェブカメラから得られた映像に対してクロマキー合成をおこない、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を介して見せる映像中のコップの背の高さのみを変化させるシステムを構築した(図2)。このシステムはビデオシースルーHMD(HMD + web カメラ)とノートPC、青色単色のテーブルクロス、そしてコップからなる。コップは、外形が高さ9.6cm、上部の直径7.1cm、底部の直径6.5cm、内側の高さが9cm、上部の直径6.6cm、底部の直径6cm、容積280cm<sup>2</sup>のほぼ円筒型で、メラミン製で80gであり、取っ手が付いているものを用いた。色は、円筒部分が白く、取っ手部分のみ肌色に着色した。このコップを使用した理由は、後述の背の高さを変形させる手法を実現するうえで取っ手がついている必要があること、高さの変形のみによる効果を調べるう



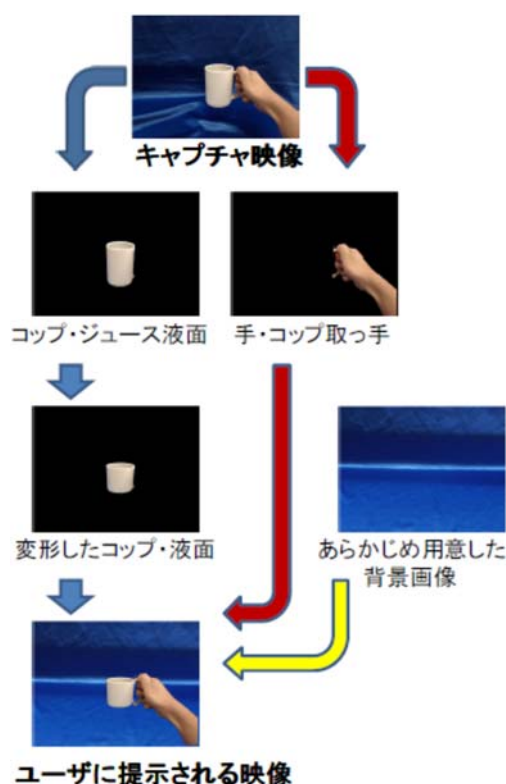


図3 コップの見かけの高さを変更する画像処理

Fig.3 Image Processing Method for Shortening/Lengthening the Height of the Cup

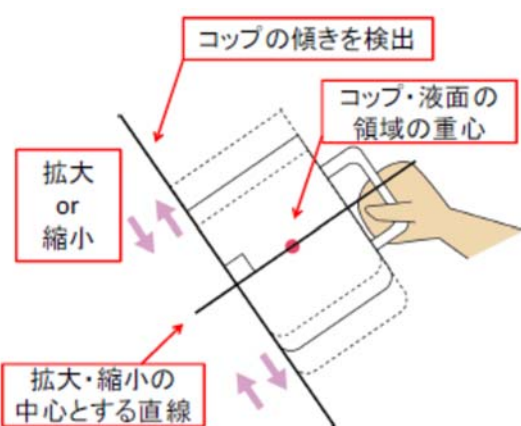


図4 重心を保ったままのコップの高さ方向の変形

Fig.4 Changing the Height w/o Changing Its Centroid

えて円筒形が適していること、デザインなどによる影響を受けないためにできるかぎり無彩色であること、内容量が標準的であることの4つによる。

図3にクロマキー合成処理の流れを示す。まずウェブカメラによってキャプチャされた映像をRGB空間からHSV空間に変換する。色相と彩度の違いから、コップ、コップ内のジュースの液面、ユーザの手とコップの取っ手の領域を、青色単色の背景から抽出できる。ユーザの手とコップの取っ手を近い色にすることで、これらを同一の領域として抽出した。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

飲料消費量操作の実現可能性を調べるという本研究の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。

次に、抽出されたコップとコップ内のジュースの液面の映像を変形する。変形の際は、コップの見た目の重心と実際の重心が同じ場所になるようにした。これは、手の触覚から得られる重心の感覚と見た目から得られる重心の感覚がずれていると、違和感を引き起こしてコップの高さが消費量に与える影響を弱める可能性があるためである。Omosakoらによれば、拡張現実感によって把持物体の見た目の形状を変えると重心の位置の知覚が変化する[30]。この現象によって生じる違和感を避けるため、重心を変えない変形手法を実装した。

まず、コップ映像にSobelフィルタをかけてエッジを取得し、一般化ハフ変換を行うことでコップの傾きを検出する。この傾きと垂直で、領域の重心を通る直線を中心とし、その上下方向に拡大または縮小する(図4)。こうして得られたコップ・液面映像と、抽出されたユーザの手・コップの取っ手映像を、あらかじめ用意した背景画像上に重畳し、HMDを通してユーザへフィードバックする。これにより、同一のコップを持っているにもかかわらず、あたかも違う高さのコップを自分の手に持っているような感覚を与えることが可能である。

#### 4 実験1: 拡張現実感による見かけのコップの長さの変化が一口あたりの飲料消費量に与える影響の評価

##### 4.1 実験設定



図5 各実験条件でのコップの見た目

(左:Short条件, 中央:Normal条件, 右:Long条件)

Fig.5 Appearance of the cup in each condition.

(Left: Short; Center: Normal; Right: Long)

3章で述べたシステムでコップの背の高さを変形して見せ、拡張現実感による見かけ上のコップの長さの変化が一口あたりの飲料消費量に与える影響を調査し、視覚的变化によって起こるミクロな食行動の変化を評価した。被験者は20代の男女12名(男性9名, 女性3名)であった。

実験は被験者内計画で行った。本実験では、被験者を研究室のブースに招き、ジュースを飲んでもらう。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上にコップのみが置かれているため、テーブルと自分の手とコップ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、提案システムが実用化され

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フィードバックが飲料消費量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[31]を参考にこのような環境を設定した。

実験中に被験者が飲料を飲む量を意識することを避けるために、被験者に対しては実験の最初には「この実験は飲料の味に関する実験である」と説明し、「同じような味のリンゴジュースについて、どちらがおいしいか選んでもらう」と伝えた。実際には常に同じリンゴジュース(興真乳業株式会社「国産つがる100%」)を使用した。果物ジュースには果糖類が多く含まれる。糖分を多く含む飲料において提案手法の効果があるかを検証するために、本実験ではリンゴジュースを用いることとした。飲料による肥満の原因としてしばしば指摘される炭酸飲料を用いた場合、時間が経過すると炭酸が抜けてしまうため、本実験遂行に適さないと考え使用を避けた。

提示する映像は、コップの背の高さを基準の1.3倍に拡大したもの(Long条件)、基準の0.7倍に縮小したもの(Short条件)、変形しないもの(Normal条件)を用いた。各条件におけるコップの見た目を図5に示す。先行研究[6]では、コップの高さが10%程度長いと、飲料消費量が平均で11%程度多くなることを示している。本実験の目的は、バーチャルに見た目のみを変えることの消費量への影響の有無を調べ、またその影響を比較することであるため、消費量への影響は大きいほうが望ましい。しかしながら、変形率が大きすぎると、変形による違和感の影響が大きくなると予測される。以上を踏まえ、文献[4]を参考に上記の倍率を設定した。

1 口の消費量は個人差が大きいため、消費量の単純平均は1口の消費量が多い被験者に著しく影響を受けることも考えられる。そこで各条件間でのデータを比較する際の指標として、文献[9]を参考に各試行における飲料消費量変化(Rate of Change)を以下のように定めて正規化し、この値を評価指標として用いる。

$$\text{Rate of Change} = \frac{\text{各条件における飲料消費量}}{\text{Normal条件下での飲料消費量}}$$

## 4.2 実験手順

実験開始時の喉の渇きの影響を可能な限り排除するために、被験者にはまず水100gを飲んでもらう。その後、HMDを付けてもらい、ジュースを一口ずつ味見するように指示を出す。被験者には200gのリンゴジュースが注がれている2つのコップからそれぞれ1口ずつ飲んでもらう。ジュースを飲んでもらうときのコップの見かけの背の高さは、一方が基準となるNormal条件、他方がLongもしくはShort条件とするようにした。また、ジュースを飲む際はコップをよく見るように指示した。両方を飲み終わった時点で、ダミーの実験目的であるおいしさに

についての調査として、口頭で「どちらがおいしかったか」を質問し、「先に飲んだ方」/「後に飲んだ方」/「同じ程度」のいずれかで回答してもらう。

これを一回の試行とし、Normal条件とLong条件、Normal条件とShort条件をそれぞれ比べるという2つの条件について、Normal条件で飲む順番が先か後かを変化させ、計4回の試行をおこなってもらった。なお、各条件の試行をおこなう順番は被験者ごとにバランスを取るように設定した。最後に、ジュースの味の好みや飲料消費習慣が極端に異なる被験者がいる場合を考慮し、「どんなジュースが好きか」、「週に何日ジュースを飲む日があるか」という質問を回答してもらい、実験中に気づいた点についても自由記述方式で回答してもらった。

## 4.3 実験結果

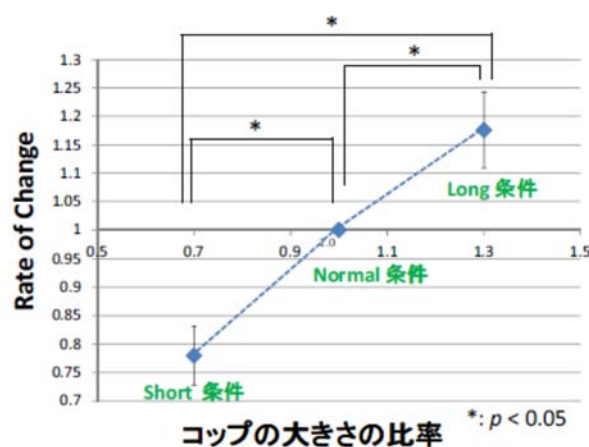


図6 見かけ上のコップの高さの変化と一口あたりの消費量変化(平均±標準誤差)

Fig.6 Average Rates of Change and their Standard Errors under Each Height Condition.

ジュースの味が極端に好き、もしくは嫌いな被験者や、極端にジュースの摂取頻度が他と異なる被験者はいなかった。そのため下記の解析ではすべての被験者のデータを用いる。

各条件下における平均消費量および標準誤差は、Normal条件とLong条件の比較において、Normal:  $9.5 \pm 1.1$ [g], Long:  $11.0 \pm 1.3$ [g]であった。また、Normal条件とShort条件の比較において、Normal:  $11.7 \pm 1.4$ [g], Short:  $9.2 \pm 1.2$ [g]であった。

図6に各条件の飲料消費量変化の平均±標準誤差を示す。Long条件では飲料消費量は18%増加しており、Short条件では22%減少している。ボンフェローニ・ホルムの方法で補正した対応のあるt検定を用い、条件間で飲料消費量変化に関する多重比較を行ったところ、有意水準5%で各条件間に有意差がみられた(Long vs. Short:  $p = 0.0016$ , Long vs. Normal:  $p = 0.024$ , Normal vs. Short:  $p = 0.0027$ )。

なお、おいしさに関する回答に関しては、どの条件間においても有意差はなく、変化が見られなかった。

#### 4.4 考察

本実験の結果から、拡張現実感によってコップの見た目の背の高さを変えてユーザにフィードバックすることにより、一口あたりの飲料消費量を増減両方向に調整可能なことが示された。コップの見かけの長さを長くすると飲む量が増え、短くすると飲む量が増えるという結果は、実際のコップを使って最初から注がれている飲料を飲む場合の研究結果[6, 9]とも合致する結果といえる。

自由回答では、被験者 12 名中 5 名が味に関する記述をしており、ジュースの量やコップの見た目について述べている者はいなかった。なお、味に関する記述のほとんどは差がわかりにくく難しいというものだった。また、各実験条件において見えている映像は同じであったと回答した被験者もいた。そのため、多くの被験者がジュースの消費量やコップの見た目について意識していなかったと予想される。このことから、被験者が飲料消費量やコップ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を上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であると考えられる。

一方、ジュースが飲みづらかった、という回答が 1 名から得られた。また、実験の様子を撮影した映像からは、コップを口元に運ぶ際にうまく運べないような状況が散見された。これは提案システムで提示される映像中と実際とでコップの口に触れる部分の位置がずれているためと考えられる。飲料を飲む際に、手に持った物体の重心知覚には曖昧さが許されるが、口元とコップの先端との距離知覚の曖昧さが高いと正しくコップに口を付けて飲料を飲むことができず、飲料をこぼしてしまう恐れがある。今回の実装では、手から感じられる重心位置の知覚の違和感をなくすために、実際のコップの重心と見た目のコップの重心が同一になるように変形したが、コップの上部を中心にコップを変形させることで、飲む際により違和感の少ない手法を実現できることが考えられる。

本実験では、Normal 条件と Long 条件の比較においては Normal 条件での一口の量が  $9.5 \pm 1.1$  [g] となっているのに対し、Normal 条件と Short 条件の比較においては Normal 条件での一口の量は  $11.7 \pm 1.4$  [g] と、差異のある結果となっている。この一因は、上述した飲みにくさによるものと考えられる。Long 条件では実際に口を付けて飲もうとすると、見た目より遠くにコップがあるため、こぼしてしまう恐れがある。本実験では、長さが異なって見えるコップを順番に使うために、それぞれの条件での適切な飲み方に慣れにくい設定となっている。そのため、被験者は Long 条件のたびに慎重に口にコップを運び、浅く傾けていた可能性がある。被験者が適正な

味の比較のためにおよそ同量となるだけ口にジュースを含もうとすると、最初に Long 条件で飲むときに少ししかコップを傾けず少量しか飲まないと、それに対応する Normal 条件でも口に含む量が減ってしまう。他方、Short 条件では実際に口を付けて飲もうとすると見た目より近くにコップがあるため、思ったよりも早く口に当たることがあったとしても、こぼしてしまう可能性は低くなる。このように特定の条件において飲みにくさがあったことで、上述したような結果の差異が生まれた可能性があると考えている。

#### 5 実験 2: 長時間使用した場合の消費量変化の評価

前章では、提案システムによって一口の消費量を調整可能なことを明らかにした。他方、提案システムが長時間に渡って使用された場合にも消費量が変化するかどうかは明らかではない。そこで実験 1 で誘発可能であることを明らかにしたミクロな行動の変化が、長時間におけるマクロな飲料消費量に与える影響を調べるために、1 時間の間自由に飲料を飲んでもらう実験を設計し、その期間の消費量の変化を計測する実験をおこなった。また、実験 1 では一対比較による実験をおこなったために比較するペア間で基準値に差異のある結果が得られたが、実験 2 では長時間 1 つの条件を利用する実験系とし、解析に当たって同様の問題が生じないようにした。

##### 5.1 実験設定

本実験は被験者内計画でおこなった。被験者は 20 代の男性 15 名であった。実験実施前にアンケートをおこない、現在の健康状態、食品に対するアレルギーや食事制限がないか、現在体重の減量や増量をしていないか、最近落ち込むようなことがなかったかといった飲料消費量に影響を与える可能性のある事柄を調査した。そして、問題のない被験者のみが実験に進んだ。

本実験では、別個の 3 日間に分けて被験者を研究室に招き、ジュースを飲んでもらった。ジュースに対する飽きの効果を防ぐため、実験日の間隔は少なくとも 2 日開けるように設定した。使用したジュースは、実験 1 で用いたリンゴジュースと同じである。各日程において、実験 1 と同じ 3 条件 (Short 条件: 高さ 0.7 倍, Normal 条件: 変形なし, Long 条件: 高さ 1.3 倍) のうち 1 つを割り当てた。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のバランスを取った。

本実験が行われた期間は 6 月から 7 月であったため、研究室は夏場の快適温度・湿度と言われる 25-28 °C, 55-65% の間に保つようにし、環境変化による飲料消費量への影響を極力抑えることとした。

本実験では、被験者に飲料消費量を意識させないために、実験冒頭では実験の目的を「HMD による疲労度の調査」と説明した。そして、1 時間の実験中に被験者



には HMD を付けたまま座り続けてもらい、ラジオのニュースを聞いてもらった。ラジオを聞いてもらう理由は、何らかのタスクを課さなければジュースやコップに対して意識が強く向きジュースの消費量に影響を与えてしまう可能性があること、タスクとして視覚を使用するものを与えた場合に視覚を使用する本システムとのコンフリクトが起こる可能性が考えられたためである。使用するニュースの内容は、前日の夜に放送された約 1 時間の番組であり、実験日ごとに異なる。

コップに残されたジュースが少なくなったことが被験者の飲料消費量に与える影響を減らすために、ジュースが半分以下に減るたびに、実験者がジュースを注ぎなおした。実験の前後および注ぎなおすタイミングでコップの重さを測ることにより、被験者の飲料消費量を計測した。図 7 に示すように、コップの下には被験者に見えないように電子秤が置いてあり、被験者がコップを手にとった回数、1 回コップを手にとってから戻すまでにジュースを飲んだ量、飲んだ時刻を同時に計測して記録した。ただし、コップの重量はテーブルクロスを介して計測しているため、飲料消費量の計測値には 1 回あたり数 g 程度の誤差が乗る可能性がある。そこで、総消費量については、計測の正確性を高めるために、実験前のジュースの量と実験後に残ったジュースの量、および実験中に注ぎ足したジュースの量から計算で求めることとした。毎回の実測値は一口あたりの消費量の解析にのみ用いる。また、実験 2 でも、結果の指標として、実験 1 と同様に飲料消費量変化 (Rate of Change) を用いる。



図7 実験 2 の様子。被験者は HMD を装着し、ラジオを聞きながら 1 時間座り続ける。

Fig.7 Scene of the Experiment2. Participants with an HMD Keep Sitting and Listening to Radio Mews in One Hour.

## 5.2 実験手順

実験に参加する上での条件として、被験者には、各実験日において実験 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、実験直前の 2 時間には飲食し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前に飲んだ飲料を記述してもらった。実験者はこの記録をチェックし、直前の飲食から 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、徹夜や過度の運動など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 点について確認した。その後、後述する喉の渇き等の体調を Visual Analogue Scale 法で回答してもらい、実験日間で体調に大きな違いがないことを確認した。これらの事前調査によって、実験を行う上で問題ないと判断された場合にのみ実験を進めた。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。

実験開始時に、被験者には実験中はジュースを好きなだけ飲んでよいことと、ジュースが減ってきたら実験者が注ぎ足すことを伝えた。ただし、コップを持つときは必ず取っ手を持つこと、コップは必ず決められた台の上 (実際は電子秤の上) に置くことを指示した。また、実験中は青いテーブルクロスの部分のみを見て、周囲を見回さないように指示をした。その後、HMD とイヤフォンを装着してもらい、被験者の前にコップの容量の約 9 割までジュースを注いだコップを置く。1 時間が経過した後、再度実験前と同じ喉の渇きの調査に回答してもらう。全ての実験が終わった後には、3 日の実験日間で気づいた違い、実験の目的は何だと思ったか、ジュースを飲む量について意識していたかと、その他気づいたことを自由記述形式で回答してもらった。

被験者には提案システムを用いてジュースを飲んでもらう前と後に、その時点で喉の渇き等の体調を評価してもらった。質問項目は以下の通りである。

- ・今どれくらい空腹ですか？
- ・今どれくらいのどが渇いていますか？
- ・今、吐き気はしますか？
- ・今、どのくらいの量の飲み物を飲めそうですか？
- ・今、どれくらい疲れていますか？

評価には、数直線上に現在の状態を記してもらう VAS 法を用いた。例えば、“今どのくらい喉が渇いていますか？”という質問に対しては、“全く渇いていない”が左端に、“すごく渇いている”が右端に書かれている 100mm の数直線上に印を書くことで回答してもらう。実験前の調査において、これらの各項目の評価値が前回の実験での評価値と比較して 30mm 以上異なっている場合には、体調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、どのくらい喉が渇いているかという質問に対して、60mm 以上の評価を付けた被験者に対しては、水 50g を飲んでもらった上で、再び同様の調査をおこない、その際の回答が実験実施条件を満たした場合には実験を実施した。

## 5.3 実験結果

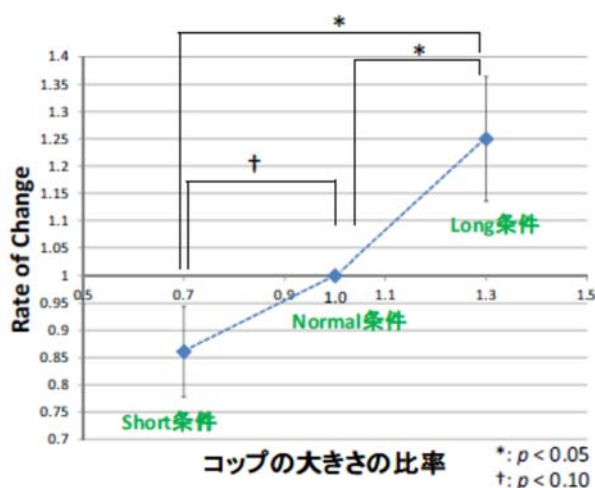


図8 見かけ上のコップの高さの変化と

1 時間あたりの消費量変化 (平均±標準誤差)

Fig.8 Average Rates of Change and their Standard Errors under Each Height Condition.

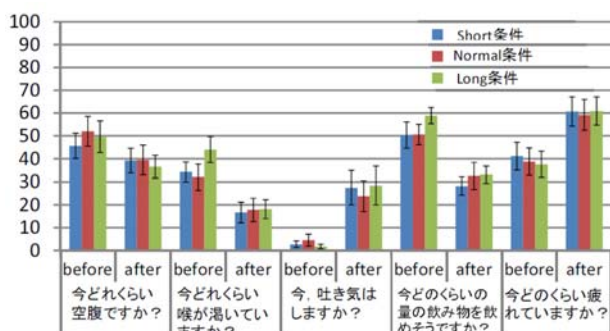


図9 各条件における実験前後の体調・身体状態の評価値 (平均±標準誤差)

Fig.9 Ratings of physical conditions before and after the testing session in experimental condition (Average ±standard error).

各条件下の飲料消費量変化について、トンプソンの棄却検定法を行ったところ、Short 条件で 1 名、Long 条件で別の 1 名のデータが 5% 有意水準に基づき棄却された。Short 条件で棄却された 1 名のデータについて、Short 条件で実験をおこなった日の体調アンケートの値が、他の実験日での値と大きく異なっていた。各項目それぞれに前実験日と 30mm 以上差がないことを確認していたが、この被験者は多くの項目に 30mm 弱のずれがあった。このことから、実験開始時点の体調が他の実験日と大きく異なってしまったために正しいデータが取れなかったと判断した。Long 条件で棄却された 1 名のデータについては、1 時間でジュースに口をつけた回数が、Short 条件で 7 回、Normal 条件で 8 回であったのに対し、Long 条件では 1 回のみであった。この被験者は Long 条件を実験の最終日に行っていたが、最終

日の自由記述アンケートにおいて、「今日はジュースの風味が気持ち悪く感じた」と書いていた。このことから、体調等の変化によって最終日に意図的にジュースの消費量を減らしたと考えられる。よって、上記 2 名の被験者の全データを、解析の対象から外すこととした。

残り 13 名のデータについて、各条件下での 1 時間の総飲料消費量の平均および標準誤差は、Short 条件:  $206.0 \pm 38.1$  [g], Normal 条件:  $251.0 \pm 45.8$  [g], Long 条件:  $283.7 \pm 40.9$  [g] であった。飲料消費量変化は、Short 条件:  $0.86 \pm 0.083$ , Long 条件:  $1.25 \pm 0.11$  であった(図 8)。すなわち、平均の飲料消費量は、Normal 条件と比べて Short 条件では 14% 減少し、Long 条件では 25% 増加している。ボンフェローニ・ホルムの方法で補正した対応のある t 検定を用い、条件間で飲料消費量変化率に関する多重比較を行ったところ、Short 条件と Long 条件、Normal 条件と Long 条件の間に有意差 (Short vs. Long:  $p=0.0242$ , Normal vs. Long:  $p=0.0496$ )、Short 条件と Normal 条件の間に有意傾向 ( $p=0.0595$ ) が見られた。

各条件下で、1 時間の間にジュースに口をつけた回数の平均および標準誤差は、Short 条件:  $6.6 \pm 1.1$  回、Normal 条件:  $7.7 \pm 1.2$  回、Long 条件:  $7.3 \pm 1.0$  回であった。1 口あたりの消費量の計測値の平均±標準誤差は、Short 条件:  $34.8 \pm 3.5$  [g], Normal 条件:  $38.6 \pm 4.4$  [g], Long 条件:  $44.2 \pm 4.5$  [g] であった。ただし前述の通り、この 1 回あたりの消費量は計測誤差が数 g 程度と大きく乗っている。この 2 種類のデータについても、1 時間での全体の消費量と同様に、Normal 条件での値で正規化した値について、ボンフェローニ・ホルムの方法で補正した対応のある t 検定を用いた多重比較を行ったところ、ともに有意な差は見られなかった。

また、各条件下で 1 回コップを手にとって元に戻すまでのジュースの平均消費量で正規化した各回の消費量と、それを飲む直前のコップ内の残量との相関関数を計算した。その結果、相関係数は Short 条件: 0.16, Normal 条件: 0.034, Long 条件: -0.0068 であり、各条件下で有意な相関はみられなかった。

一定時間の刺激を受けると慣れによって効果が低減していく可能性がある。そのため、長時間における効果を検証する上では、コップの見かけの長さの影響が経時的にどう変化していったかを検証する必要がある。そこで各被験者がジュースを飲んだ回数に基づいて、各被験者の実験前半と実験後半の飲料消費量をそれぞれ求めた。例えば、飲んだ回数が 5 回の被験者の場合、最初の 2 回の飲料消費量の合計を実験前半の飲料消費量とし、最後の 2 回の飲料消費量の合計を実験後半の飲料消費量として算出した。その結果、実験前半の飲料消費量は、Short 条件:  $101.2 \pm 17.6$  [g], Normal 条件:  $145.4 \pm 26.1$  [g], Long 条件:  $164.9 \pm 21.1$  [g] であっ



た. 実験後半の飲料消費量は, Short 条件:  $92.2 \pm 16.1$  [g], Normal 条件:  $119.7 \pm 19.5$  [g], Long 条件:  $122.4 \pm 15.2$  [g]であった. この結果に対して 2 要因被験者内分散分析をおこなったところ, 実験期間(前半, 後半)の主効果に有意差がみられ( $p = 0.0140$ ), 長さ条件(Short, Normal, Long)の主効果に有意差がみられた( $p = 0.0196$ ). 他方, 実験期間と長さ条件の交互作用には有意差がみられなかった.

図 9 は, 実験条件ごとの実験前・実験後の VAS 調査の結果を示したグラフである. 実験の前と後のそれぞれ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.

#### 5.4 考察

喉の渇き等の体調について, 実験前の各調査項目の評価値および実験後の各調査項目の評価値に各条件間で有意な差が見られなかった. このことから, 本実験は適切な前提条件下でおこなわれていたことが保証された.

本実験の結果から, コップの見た目の背の高さを変形させて見せるシステムは, 1 時間の間の飲料消費量についても, 一口あたりの量を調整するのと同様の方向の変化を与えられることが示された. また, 実験前後の喉の渇きの変化に差が見られなかったことから, 提案システムによって, 飲料から得られる満足感是一定のまま, 飲料消費量だけが変化したこと, すなわち, 一定量のジュースから得られる満足感が変化したことが示された.

最終日のアンケートでは, 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, ジュースを飲んだ量について意識していた被験者はおらず, 実験の目的についてジュースの消費量に関連する記述をしたものは 2 名だけであった. これらのことから, 提案システムは長期的に利用する場合においても, 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であると考えられる.

各条件下において, 一口の消費量と, その一口を飲む直前のコップ内の残量との相関がなかったことから, 今回の実験ではコップ内の残量は次の一口の消費量にほとんど影響を与えていないことが示唆された.

さらに, 実験期間に関する分析では, 実験期間(前半, 後半)の主効果に有意差がみられ, 長さ条件(Short, Normal, Long)の主効果に有意差がみられたものの, 実験期間と長さ条件の交互作用には有意差がみられなかった. 一定量のジュースを飲むと被験者がある程度の満足を得るため, その後はジュースを飲む量が次第に減ると考えられる. 本実験の結果は, 1 時間の実験においては, 時間の経過に伴って被験者がジュースを飲む量は次第に減るという効果が現れるものの, それによって見かけ上の長さがもたらす効果は変化しないことを示

している. これにより, 提案手法が長期間にわたって効果を持続可能であることが示された.

#### 6 おわりに

本研究では, 拡張現実感によってコップの長さを変化させることにより, 飲料消費量を調節可能であることを明らかにした. コップの長さの変化が飲料消費量を変化させる効果について, 一口あたりの影響を調べる短期の実験と, 1 時間の総消費量を調べる長期の実験の双方を行った. その結果として, コップの長さを短く見せることによって飲料消費量は低減し, また長く見せることによって増加すること, こうした効果は短期にも長期にも同様に現れることを明らかにした.

提案手法のリミテーションとして, コップを見ずに飲み物を飲む場合には効果が低下することが考えられる. 例えば, テレビを見ながらジュースを飲むような状況では, カップが注視される頻度は少なくなるだろう, 一方で, カトラリーが食知覚を変化させる効果を検証した研究では, テレビを見ているときなどカトラリーを周辺視で見ているときの方が, 食知覚変化効果が増強されたことが示されている[32]. 提案手法においてもコップを注視し続けない状況においてより効果が高まる可能性があるため, 今後そのような注意の影響を検証する必要があると考えられる.

また, 提案手法では HMD を着用する必要がある. Sakurai らの手法[5]のように, プロジェクションマッピングを活用することで提案手法と同様の効果を発生させることもできると考えられる. 特にコップの高さ方向が変化して感じられるような錯視効果を引き起こす映像を投影するなど, 本手法を発展させてより効果的に高さ方向の変化を感じさせる方法を確認すれば, さらに飲料消費量調整効果の高い手法を実現できる可能性もある.

本研究で提案した手法は情報技術を活用して飲料消費量を調整する初めての試みであり, まだまだ洗練された手法であるとは言いがたい. 得られた知見をもとに今後さらなる検証や開発を進めることで, 提案手法を発展させ, 個人が健康を促進させるために適切な飲料消費量を実現できる手法を実現していきたい.

#### 謝辞

本研究の一部は科研費基盤研究(A)(17H00753)の助成を受けた.

#### 参考文献

- [1] C. JL. Murray et al. Global, regional, and national incidence and mortality for HIV, tuberculosis, and malaria during 1990-2013: a systematic analysis for the global burden of disease study 2013. The Lancet, Vol. 384, No. 9947, pp. 1005-1070, 2014.
- [2] A. L. Beck, J. Tschann, N. F. Butte, C. Penilla, and L. C.

- Greenspan. Association of beverage consumption with obesity in Mexican American children. *Public health nutrition*, Vol. 17, No. 02, pp. 338-344, 2014.
- [3] J. WHO and F.A.O.E. Consultation. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. World Health Organization, 1991.
- [4] T. Narumi, Y. Ban, T. Kajinami, T. Tanikawa, and M. Hirose. Augmented perception of satiety: controlling food consumption by changing apparent size of food with augmented reality. In *Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 109-118. ACM, 2012.
- [5] S. Sakurai, T. Narumi, Y. Ban, T. Tanikawa, and M. Hirose. Affecting our perception of satiety by changing the size of virtual dishes displayed with a tabletop display. In *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Systems and Applications*, pp. 90-99. Springer, 2013.
- [6] P. Raghubir and A. Krishna. Vital dimensions in volume perception: Can the eye fool the stomach? *Journal of Marketing Research*, pp. 313-326, 1999.
- [7] J. Piaget, B. Inhelder, A. Szeminska. *Child's conception of geometry*, Vol. 81. Routledge, 2013.
- [8] C. Stangor and D. McMillan. Memory for expectancy-congruent and expectancy-incongruent information: A review of the social and social developmental literatures. *Psychological Bulletin*, Vol. 111, No. 1, p. 42, 1992.
- [9] V. Ines and M. Girao. Glasses' makeup: the simple and the combined effect of color and shape on perceived volume and beverage intake. PhD Thesis. NSBE-UNL. 2009.
- [10] B. Wansink, A. Cardello, and J. North. Fluid consumption and the potential role of canteen shape in minimizing dehydration. *Military medicine*, Vol. 170, No. 10, pp. 871-873, 2005.
- [11] B. Wansink and K. Van Ittersum. Bottoms up! the influence of elongation on pouring and consumption volume. *Journal of Consumer Research*, Vol. 30, No. 3, pp. 455-463, 2003.
- [12] S. R. Caljouw and R. van Wijck. Is the glass half full or half empty? how to reverse the effect of glass elongation on the volume poured. *PloS one*, Vol. 9, No. 10, p. e109374, 2014.
- [13] C. Gundlach and C. Macoubrey. The effect of color on apparent size. *The American Journal of Psychology*, pp. 109-111, 1931.
- [14] V. Folkes and S. Matta. The effect of package shape on consumers' judgments of product volume: attention as a mental contaminant. *Journal of Consumer Research*, Vol. 31, No. 2, pp. 390-401, 2004.
- [15] A. S. Attwood, N. E. Scott-Samuel, G. Stothart, and M. R. Munafò. Glass shape influences consumption rate for alcoholic beverages. *PloS one*, Vol. 7, No. 8, p. e43007, 2012.
- [16] B. Wansink, J. E. Painter, and J. North. Bottomless bowls: Why visual cues of portion size may influence intake. *Obesity Research*, Vol. 13, No. 1, pp. 93-100, 2005.
- [17] E. Maggioni, P. Risso, N. Olivero, and A. Gallace. The effect of the weight of the container on people's perception of mineral water. In *15th Annual Meeting of the International Multisensory Research Forum*, 2014.
- [18] H. Lin. Does container weight influence judgments of volume? *International Journal of Research in Marketing*, Vol. 30, No. 3, pp. 308-309, 2013.
- [19] B. Piqueras-Fiszman and C. Spence. The weight of the container influences expected satiety, perceived density, and subsequent expected fullness. *Appetite*, Vol. 58, No. 2, pp. 559-562, 2012.
- [20] O. Genschow, L. Reutner, and M. Wänke. The color red reduces snack food and soft drink intake. *Appetite*, Vol. 58, No. 2, pp. 699-702, 2012.
- [21] N. Gueguen. The effect of glass colour on the evaluation of a beverage's thirst-quenching quality. *Current psychology letters. Behaviour, brain and cognition*, No. 11, Vol.2, 2003.
- [22] L. L. Garber Jr, E. M. Hyatt, and R. G. Starr Jr. The effects of food color on perceived flavor. *Journal of Marketing Theory and Practice*, pp.59-72, 2000.
- [23] B. Piqueras-Fiszman and C. Spence. The influence of the color of the cup on consumers' perception of a hot beverage. *Journal of Sensory Studies*, Vol. 27, No. 5, pp. 324-331, 2012.
- [24] T. Narumi, M. Sato, T. Tanikawa, and M. Hirose. Evaluating Cross-Sensory Perception of Superimposing Virtual Color onto Real Drink: Toward Realization of Pseudo-Gustatory Displays, *ACM Augmented Human 2010*, 18:1-6, 2010.
- [25] T. Narumi, S. Nishizaka, T. Kajinami, T. Tanikawa, and M. Hirose. 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, 2011.
- [26] C. Suzuki, T. Narumi, T. Tanikawa, and M. Hirose. Affecting tumbler: affecting our flavor perception with thermal feedback. In *Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, Article 19, 2014.
- [27] N. Koizumi, H. Tanaka, Y. Uema, and M. Inami. 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*, No.21, pp. 1-4, 2011.
- [28] 中村裕美, 宮下芳明. 一極型電気味覚付加装置の提案と極性変化による味質変化の検討. *情報処理学会論文誌*, 54(4), 1442-1449, 2013.
- [29] 櫻井悟, 青山一真, 宮本靖久, 古川正紘, 前田太郎, 安藤英由樹. 電気刺激による塩味および旨味を呈する塩の味覚抑制, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 20, No 3, pp.239-242, 2015.
- [30] H. Omosako, A. Kimura, F. Shibata, and H. Tamura. Shape-cog illusion: Psychophysical influence on center-of-gravity perception by mixed-reality visual stimulation. In *Virtual Reality Short Papers and Posters (VRW)*, 2012 IEEE, pp. 65-66. IEEE, 2012.
- [31] B.J. Rolls, L.S. Roe, T.V.E. Kral, J.S. Meengs, and D.E. Wall. Increasing the portion size of a packaged snack increases energy intake in men and women. *Appetite*, Vol. 42, No. 1, pp. 63-69, 2004.
- [32] B. Wansink, and M. Cashman. *Mindless eating. Books on Tape*, 2006.

(2018年3月11日)

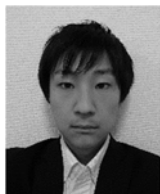
[著者紹介]

鳴海拓志(正会員)



2006 年東京大学工学部卒業. 2008 年同大学大学院学際情報学府修了. 2011 年同大学大学院工学系研究科博士課程修了. 2011 年同大学大学院情報理工学系研究科助教, 2016 年より講師 (現職). JST さきがけ研究員 (兼任). クロスモーダルインタフェースの研究に従事. 博士 (工学).

鈴木瑛二(非会員)



2013 年東京大学工学部機械情報工学科卒業. 2015 年同大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻修士課程修了. 拡張現実感を用いた飲料消費量の調整に関する研究に従事.

櫻井翔(正会員)



2007 年群馬大学社会情報学部社会情報学科卒業. 2014 年, 東京大学大学院工学系研究科先端学際工学専攻博士課程修了. 現在, 電気通信大学情報理工学研究科情報学専攻特任助教. 認知拡張技術の研究に従事. マンガ家. 博士 (工学).

谷川智洋(正会員)



1997 年東京大学工学部卒業. 2002 年同大学大学院博士課程修了. 2005 年東京大学先端科学技術研究センター講師を経て, 2016 年より同大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻特任准教授. 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 年東京大学工学部卒業, 1982 年同大学大学院博士課程修了. 1983 年同大学助教授, 1999 年同大学先端科学技術研究センター教授, 2006 年同大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻教授. VR の研究に従事. 工学博士.