



# 下方視野を拡大したヘッドマウントディスプレイが 食べやすさやクロスモーダル効果に与える影響

The Impact of a Head-Mounted Display with an Increased Downward Field of View  
on Ease of Eating and Cross-Modal Effects

中野萌士<sup>1)</sup>, Perusquia-Hernandez Monica<sup>1)</sup>, 磯山直也<sup>1)</sup>, 内山英昭<sup>1)</sup>, 清川清<sup>1)</sup>

Kizashi NAKANO, Monica Perusquia-Hernandez, Naoya ISOYAMA, Hideki UCHIYAMA, and Kiyoshi  
KIYOKAWA

1) 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 (〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5, nakano.kizashi.nc2,  
m.perusquia, isoyama, hideaki.uchiyama, kiyo@is.naist.jp)

**概要:** Head-mounted display (HMD) を装着したままの食事は下方向の視野角 (下方視野) が限られており, 口付近に視覚情報を提示できず, 食品の視認が困難であるため視覚変調による味覚操作のクロスモーダル効果や食べやすさを制限している. 我々は, 鉛直下方向に光学系を追加した下方視野拡大 HMD に魚眼カメラを追加し, 口付近の視覚情報提示が可能なビデオスルー型 HMD を開発した. 開発した HMD を使用した食事実験の結果, 下方視野の拡大は食べやすさを向上させるが, クロスモーダル効果には影響を与えないことが明らかになった.

**キーワード:** 下方視野 HMD, 味覚インタフェース, クロスモーダル効果

## 1. はじめに

日々の食事は, 生命維持に必要な行為であると同時に大きな楽しみでもあり, 必要不可欠な行為である. また, 食事は現実だけのものではなく, Head-mounted display (HMD) を使用した Virtual Reality (VR) 環境でも重要である. 食事を VR 環境に持ち込んだ例として, Korsgaard らは, 高齢者は一人で食事をするよりも VR 環境で友人と食事をすることを好むことを報告した [1]. 筆者らは, 現実の映像から食品領域だけを VR 環境に重畳するアプリケーションを開発し, 食べやすさと VR 環境の臨場感を向上させた [2].

一方, 我々が風味として感じる食品の味は視覚や聴覚等の多感覚からの影響を受ける [3]. そのため, 食品の外見をビデオスルー (VST) 型 HMD を用いた拡張現実 (AR) によって視覚的に変化 (視覚変調) させることで, 実際とは異なる食品の味を感じさせることが可能である. 筆者らは, クロスモーダル効果を用いた味覚操作インタフェースを開発し, 実際にはそうめんを食べていても焼きそばの味を知覚させられることを示した [4, 5]. 上田らは, マグロ寿司の外見を大口に変化させ, 知覚される口当たりと油っさを操作可能であることを示した [6]. これらのような食事に関する AR/VR 研究は増加傾向にあり, 注目されている [7].

しかしながら, HMD の限られた下方向の視野角 (下方視野) によって口付近の食品が視認できないため, HMD を装着したまま行う食事にはいくつかの問題点がある. 1 つ目の問題は食品の食べやすさである. HMD を装着したまま食

事を行った先行研究では [2, 4, 5], 口付近の食品が視認できないため口まで食品を運ぶことが難しく, 食べやすさが低下してしまう問題が報告されている. 2 つ目の問題は視覚変調による味覚操作の効果量が低下する可能性である. 視覚変調による味覚操作を行った研究では [4, 5], 口付近において食品の外見を変調提示することが不可能であり, 味覚操作を阻害している可能性を指摘している.

他方, 筆者らは既存の HMD の鉛直下方向に光学系を追加し, 下方視野を拡大した HMD [8] を開発し, VR 環境の臨場感や身体感覚に対する影響を調査している. そこで本研究では, 下方視野拡大 HMD [8] に VST 機能を追加した口付近の視覚情報提示が可能な AR システムを開発し, 下方視野の拡大が食事の食べやすさやクロスモーダル効果に与える影響を調査する. 以下に本研究の主な貢献を示す.

- 下方向に広い視野角を持つ VST 型 HMD の開発 (水平: 約 70 [deg], 垂直: 約 107 [deg])
- 下方視野の拡大は, HMD を装着したままの食事の食べやすさを向上させることの実証
- 下方視野の拡大は, 視覚変調によるクロスモーダル効果を用いた味覚操作の効果量に影響を与えないことの発見

## 2. VST 型下方視野拡大 HMD

### 2.1 システム概要

口元付近の食品に対して視覚変調を行うため, 下方視野拡大 HMD [8] の前面に魚眼カメラ (ELP-SUSB1080P01-

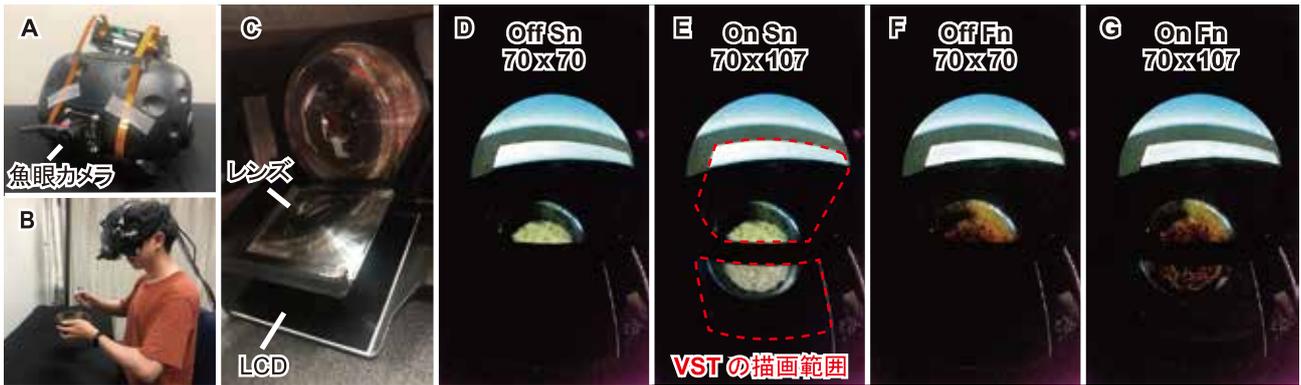


図 1: VST 型下方視野拡大 HMD . A:前方からみた様子, B:装着時の様子, C:追加した光学系, D, E, F, G : 各条件の視野角および映像を出力した状態 (OffSn, OffFn : 水平 : 約 70 [deg], 垂直 : 約 70 [deg], OnSn, OnFn : 水平 : 約 70 [deg], 垂直 : 約 107 [deg])(最大視野角を表示)

L170, 視野角:170 [deg], 最大解像度: 1080×1920, フレームレート: 50 [fps]) を正面から下方向に 25 [deg] 傾けて追加し, 下方視野に視覚情報提示が可能な VST 型下方視野拡大 HMD を開発した (図 1) . 具体的には, HTC VIVE の下半分を切断し, 3D プリンタで制作したハウジングを用いて HMD 用 LCD (Sharp LS029B3SX02, 大きさ: 2.9 [inch], 表示領域: 51.84×51.84 [mm], 解像度: 1440×1440, 120 [fps]) とフレネルレンズ (縦: 35 [mm], 横: 38 [mm], 焦点距離: 40 [mm]) で構成される光学系を両目の直下に 1 組ずつ合計 2 組, 顔方向に 20 度傾けて設置した. 視野角計測のため, 事前にカメラ構成を行った等距離射影式の魚眼カメラ ((GS-15WDCM-1.5MM, 解像度: 1920×1080, 視野角: 180 [deg]) で視野角の計測を行った結果を表 1 に示す.

## 2.2 機械学習を用いた視覚変調機能

食品の外見の変化には, 先行研究 [4] の StarGAN [9] を用いたシステムを使用した. システムは Unity 2019.4.39f1 で作成したクライアントと Python のフレームワークである Flask で作成したサーバで構成されている. 最初に, サーバは HMD 前面に追加された魚眼カメラの映像を取得する. 次に, OpenCV を用いて魚眼カメラの歪み補正を行った後, StarGAN を用いて異なる食品画像を生成した. 遅延を減少させるため魚眼カメラの解像度を 480×640 に制限し, 魚眼カメラの歪み補正による削減や画像生成のためのリサイズによって, 最終的に生成された食品画像の解像度は 256×341 であり, 計測された遅延は約 200 [ms] であった. 最後に, クライアントは生成された食品画像をユーザの目から 200 [mm] 離れた位置に, 魚眼カメラと同じく下方向に 25 [deg] 傾けて表示した.

下方視野拡大 HMD に対する映像表示のために, VIVE 表示部分には Steam VR を用いた仮想メインカメラを使用し, 下方視野部分にはそのカメラに追従する 2 つの仮想サブカメラを使用した. 2 つの仮想サブカメラは光学系と同様に顔方向に 20 度傾けて設置した. 仮想サブカメラの映像を編集された視錐台によって補正した後, メッシュ変形によって手動でフレネルレンズによる歪みを補正した.

## 3. 実験

### 3.1 実験概要

本実験では, 下方視野の拡大による口付近の食品の視認性向上が HMD 装着時の食品の食べやすさや視覚変調による味覚操作の効果量を向上させるかどうかを調査した. 実際に食べる食品として, 先行研究 [4] と同一の食品である日清のどん兵衛温つゆおそうめんミニを使用した. 実験ではスープの粉末のみを入れたものを使用し, かやくは使用しなかった. 実験は, 2×2 の要因計画に従って行った. 独立変数は下方視野条件 (On: 追加ディスプレイユニットを使用, Off: ユニットを使用しない) と視覚変調条件 (Sn: 視覚変調を行わない元の食品の外見 (そうめん), Fn: 視覚変調を行った後の食品の外見 (焼きそば)) であった. つまり, 合計 4 つの条件 (OffSn: Off Somen noodles, OnSn: On Somen noodles, OffFn: Off Fried noodles, OnFn: On Fried noodles) を設定した. 各条件での食品の外見を図 1 (D, E, F, G) に示す. すべての変数は参加者内であり, ラテン方格法に基づき全ての条件下で, 参加者はカウンターバランスのとれた順序でタスクを実行した.

### 3.2 実験手順

実験は研究室内の静かな部屋で行われた. 参加者は過度に空腹や満腹でないことを口頭で確認した. 参加者は机に座った後, 各条件下でそうめんを食べるという実験内容を説明され, アンケート内容を確認した. その後, 以下の順序に従って実験が行われた.

1. 参加者は水を飲む
2. 下方視野拡大 HMD を装着する
3. 各条件で器に入れられたそうめんを視認する

表 1: 等距離射影式の魚眼カメラで計測した VST 部分の視野角. 追加した下方視野部分には一部 VST 映像が表示されない部分があるため, 範囲で視野角を表している.

FoV	Horizontal	Vertical (upper + gap + lower)
Original HTC VIVE	~70 [deg]	~52 (22 + 0 + 30) [deg]
Our downward HMD	~50-70 [deg]	~107 (22 + 10 + 50-75) [deg]
Difference	±0 [deg]	+30-55 (0 + 10 + 20-45) [deg]

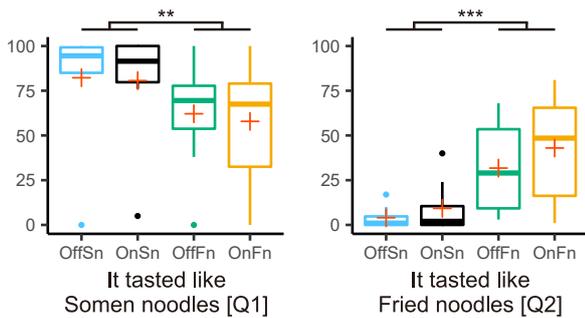


図 2: 食品の味の変化を VAS 法を用いて計測した結果 (Q1, Q2)

4. 箸を使用してそうめんを 2 口以上食べる
5. HMD を取り外した後、アンケートに回答する
6. 各条件で手順 1~5 を繰り返し行う

手順 1 は各条件で口内に残った食品を洗い流すために行った。実験結果に影響を与えないため、HMD を装着した状態でのみ参加者に食品を見せた。

### 3.3 評価項目

アンケートは先行研究 [2, 4] から選定された食品の味とカテゴリ認知の変化を計測する 4 つの質問 [4] と食べやすさを計測する 1 つの質問 [2] で構成されている。詳細な質問内容を表 2 に示す。質問はすべて VAS 法 (Visual Analog Scale: 0 (strongly disagree) – 100 (strongly agree)) を用いて 101 段階で計測した。

### 3.4 仮説

本実験で検証する仮説を以下に示す。

- H1 下方視野の拡大によって、口付近の食品の視認性が向上し、食べやすさが向上する。
- H2 下方視野の拡大によって、視覚変調後の食品の視認性が向上し、味覚操作の効果量が増加する。

## 4. 実験結果

実験結果を図 2, 図 3, 図 4 に示す。各図の赤い十字は平均値を示している。実験には合計 8 人 (男性 5 人, 女性 3 人, 平均年齢 22.9 歳,  $SD = 0.83$ ) が参加した。すべての結果に対して two-way ANOVA (追加したディスプレイユニット: On vs. Off, 食品の外見: 変調前 (Sn) vs. 変調後 (Fn)) を行った。また、結果に対して Shapiro-Wilk test を行ったところ、いずれの結果も正規分布ではなかったため、Aligned Rank Transform を行った。検出された有意な差は次の記号で示す: \*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.01$ 。

表 2: 先行研究 [2, 4] から選定されたアンケート内容。全ての質問は VAS 法を用いて計測された。

No.	Question
Q1	味がそうめんだった
Q2	味が焼きそばだった
Q3	食べているものがそうめんだった
Q4	食べているものが焼きそばだった
Q5	VR ゴーグル (HMD) を装着したときは食べやすかったですか?

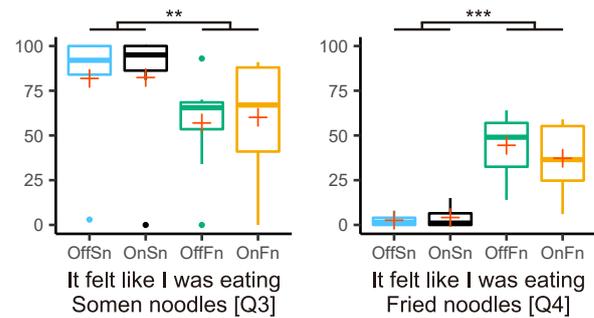


図 3: 食品のカテゴリ認知の変化を VAS 法を用いて計測した結果 (Q3, Q4)

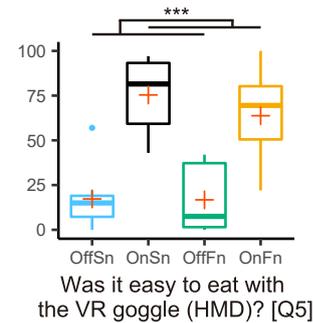


図 4: 食べやすさを VAS 法を用いて計測した結果 (Q5)

図 2 は食品の味の変化を調査した Q1 と Q2 の結果を示している。two-way ANOVA の結果、Q1 では視覚変調条件 (変調前 vs. 変調後) に有意な差が確認された ( $F(1, 28) = 7.88, p < 0.01$ )。Q2 では視覚変調条件 (変調前 vs. 変調後) に有意な差が確認された ( $F(1, 28) = 14.73, p < 0.001$ )。Q1 と Q2 のいずれも下方視野条件 (On vs. Off) には有意な差は確認されず、交互作用も確認されなかった。

図 3 は食品のカテゴリ認知の変化を調査した Q3 と Q4 の結果を示している。two-way ANOVA の結果、Q3 では視覚変調条件 (変調前 vs. 変調後) に有意な差が確認された ( $F(1, 28) = 12.51, p < 0.01$ )。Q4 では視覚変調条件 (変調前 vs. 変調後) に有意な差が確認された ( $F(1, 28) = 72.03, p < 0.001$ )。Q3 と Q4 のいずれも下方視野条件 (On vs. Off) には有意な差は確認されず、交互作用も確認されなかった。

図 4 は食品の食べやすさを調査した Q5 の結果を示している。two-way ANOVA の結果、下方視野条件 (On vs. Off) に有意な差が確認された ( $F(1, 28) = 41.39, p < 0.001$ )。視覚変調条件 (変調前 vs. 変調後) では有意な差は確認されず、交互作用も確認されなかった。

## 5. 考察

Q5 の結果は、下方視野条件 (On vs. Off) で有意な差が確認され、下方視野を拡大することで HMD 装着時の食品の食べやすさを向上させることを示しており、H1 を支持している。一方、下方視野拡大 HMD の視野角は  $70 \times 107$  [deg] であり、先行研究 [4] で用いた VIVE Pro の視野角の  $110 \times 110$  [deg] よりも小さいため、既存の広視野 HMD と比較して食べやすいかどうかを比較する必要がある。

先行研究 [4] は、本実験と同じ食品 (そうめん) と器を用い

て行われ、「It was easy to eat with the HMD」という食べやすさに関する質問の結果は( $M = 41.1, SD = 26.5, n = 12$ )であった。本実験では、「VR ゴーグル (HMD) を装着したときは食べやすかったですか?」という質問 (Q5) の結果は OnSn 条件で ( $M = 75.4, SD = 20.9, n = 8$ ), OnFn 条件で ( $M = 63.8, SD = 26.3, n = 8$ ) であった。質問内容や実験環境が異なることに注意が必要であるが、VIVE Pro を用いた実験と比較しても、下方視野拡大 HMD を用いたほうが食べやすい可能性が考えられる。これらの原因は、VIVE Pro の垂直視野角は上下方向に対して均等であるが、本研究で用いた下方視野拡大 HMD の垂直視野角は下方向に偏っており、口付近の視認性が高いためであると考える。

Q2 と Q4 の結果は、視覚変調条件 (変調前 vs. 変調後) で有意な差が確認され、視覚変調によって食品の外見を焼きそばに変化させることで、焼きそばの味やカテゴリ認知が増加していることを示唆している。また、Q1 と Q3 の結果も、視覚変調条件 (変調前 vs. 変調後) で有意な差があることを示しており、視覚変調によって食品の外見を焼きそばに変化させることで、実際に食べているそうめんの味やカテゴリ認知が低下していることを示している。つまり、食品の外見を異なる食品に変化させることで、変調前の食品の味やカテゴリ認知が低下し、変調後の食品の味やカテゴリ認知を向上させている。これらの結果は、先行研究 [4, 5] と一致しており、下方視野拡大 HMD を用いた実験でも視覚変調による味覚操作が可能であることを示している。

しかしながら、Q1-Q4 の下方視野条件 (On vs. Off) の結果では有意な差は確認されなかった。また、いずれの条件においても交互作用は確認されなかった。これらの結果は、下方視野の拡大によって口付近の視認性が向上しても、クロスモーダル効果を用いた味覚操作の効果量に影響を与えないことを示しており、H2 を支持しない。

原因として、食品を口付近に運び口に入れるまでに、常に食品を視認していないことが考えられる。そのため、口付近の視認性を向上させても変調後の食品を視認していないため、味覚操作の効果量が変化しなかった可能性がある。一方、視覚変調によるクロスモーダル効果がいずれの条件でも最大限機能しており、味覚操作の効果量が変化しなかったことも考えられる。そのため、口付近の視認性が向上しても、クロスモーダル効果に影響を与えなかった可能性がある。これらを検証するため、下方視野拡大 HMD にアイトラッカを追加して食事時の視線を計測し、下方視野がどの程度使用されているかの追跡調査が必要だと考える。

## 6. おわりに

本研究では、下方視野を拡大した VST 型 HMD を開発し、下方視野の拡大による口付近の食品の視認性向上が、食べやすさや視覚変調によるクロスモーダル効果を用いた味覚操作の効果量を向上させるかを調査した。実験の結果、下方視野の拡大は、HMD 装着時の食品の食べやすさを向上さ

せることを明らかにした。一方、下方視野の拡大しても味覚を操作できるが、効果量に影響は与えないことが判明した。今後は、下方視野拡大 HMD にアイトラッカを追加し、ユーザが机の上から食品を口に運ぶまでに、食品をどのように視認しているかを計測し、口付近の物体をどのように認知しているかを明らかにする追跡調査を予定している。謝辞 本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費助成事業特別研究員奨励費 (JP20J21546) の支援を受けて行われた。

## 参考文献

- [1] D. Korsgaard, T. Bjorner, J. R. Bruun-Pedersen, P. K. Sorensen, and F. J. Perez-Cueto. Eating together while being apart: A pilot study on the effects of mixed-reality conversations and virtual environments on older eaters' solitary meal experience and food intake. In *Proceedings of the IEEE VR*, pp. 365–370, 2020.
- [2] K. Nakano, D. Horita, N. Isoyama, H. Uchiyama, and K. Kiyokawa. Ukemochi: A video see-through food overlay system for eating experience in the metaverse. In *Proceedings of the CHI EA*, pp. 1–8, 2022.
- [3] C. Spence. Multisensory Flavor Perception. *Cell*, 161(1):24–35, 2015.
- [4] K. Nakano, D. Horita, N. Sakata, K. Kiyokawa, K. Yanai, and T. Narumi. DeepTaste: Augmented reality gustatory manipulation with GAN-based real-time food-to-food translation. In *Proceedings of the IEEE ISMAR*, pp. 212–223, 2019.
- [5] K. Nakano, D. Horita, N. Kawai, N. Isoyama, N. Sakata, K. Kiyokawa, K. Yanai, and T. Narumi. A Study on Persistence of GAN-Based Vision-Induced Gustatory Manipulation. *Electronics*, 10(10):1157, 2021.
- [6] J. Ueda and K. Okajima. AR food changer using deep learning and cross-modal effects. In *Proceedings of IEEE AIVR*, pp. 110–117, 2019.
- [7] J. J. Chai, C. O'Sullivan, A. A. Gowen, B. Rooney, and J. L. Xu. Augmented/mixed reality technologies for food: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 124:182–194, 2022.
- [8] K. Nakano, N. Isoyama, D. Monteiro, N. Sakata, K. Kiyokawa, and T. Narumi. Head-Mounted Display with Increased Downward Field of View Improves Presence and Sense of Self-Location. *IEEE TVCG*, 27(11):4204–4214, 2021.
- [9] Y. Choi, M. Choi, M. Kim, J.-W. Ha, S. Kim, and J. Choo. StarGAN: Unified generative adversarial networks for multi-domain image-to-image translation. In *Proceedings of IEEE CVPR*, pp. 8789–8797, 2018.