

〔論 文〕

HMD 型 VR が誘発する感覚の変化とその可能性

河野 央^{*1}・武永 拓^{*2}・瀧 健太^{*3}・江藤 信一^{*1}

Sensory Change Effects and Applicability of Virtual Reality with Head Mounted Displays

Hiroshi KONO^{*1}, Taku TAKENAGA^{*2}, Kenta TAKI^{*3} and Shinichi ETOH^{*1}

Abstract

In this study, we examine the effect of combining visual and other sensory stimuli in virtual reality (VR) using head mounted displays (HMDs) to determine the potential applicability of VR with HMDs. Such a system imparts a highly immersive feeling, causing a cross-modal phenomenon. To fully develop this immersive feeling, the visual stimulus displayed on the HMD must be combined with other sensory stimuli, and basic knowledge of the physiological and psychological aspects is necessary.

First, we examine the effects of visual stimuli, tactile stimuli, and auditory stimuli by measuring the heart-rate variability as a physiological index while subjects are immersed in altitude experience contents. A combination of visual and tactile stimuli significantly raised the subjects' heart rate.

In addition, as a psychological change, we induce taste through the visual stimulus alone and examine the psychological impact of the VR environment experienced through the HMD. A salty-taste inducing effect is imparted. The HMD is also effective than monitor display as a visual stimulus.

Through these experiments, we suggest that VR with HMDs is applicable to warming up for sports activities and reducing salt intake.

Key Words : Virtual Reality, Head Mounted Display, Heart-Rate Variability, Virtual Taste

1. 研究の背景

人工現実感 VR (Virtual Reality) の技術は古くは1960年代に遡り, Telesphere Mask⁽¹⁾は現在の HMD (Head Mounted Display) の原型として位置付けられている代表的な例である. 1980年代から1990年代にかけては, 現在の HMD 型 VR に近い形のものが実用化されているが, 当時としては高度な技術や高性能な演算能力を持つコンピュータが必要であった.

2013年になると, Oculus 社の開発した「Oculus Rift DK 1 (Development Kit 1)」がテスト量産され, それまでは数百万円の価格であるような製品を300ドルで販売を開始したことが, ゲームやエンターテインメント業界だけではなく, 研究者や開発者からも注目された. 特に2016年は, Oculus Rift, HTC Vive, PlayStation VR の三大 VR HMD がリリースされ, 一般消費者の手に届くようになったことから「VR 元年」とよばれている.

立体視や VR ブームは, その時代における新たな技術の利用により注目されながらも設備や価格等が要因で一般ユーザに普及せずにはブームが沈静化するといったスパイラルが30年ごとに繰り返されていた⁽²⁾. しかしながら, 近年の HMD のようなヘッドセットの普及や VR コンテンツの増加により, 設備や価格の問題は解消されつつあり, 日常生活における一般ユーザの VR 体験が容易になることが予想される. 一方, 現在の HMD 型の VR は装着者以外が体験できないため「体験した人にしか分からない」問題があり, VR をサスティナブルな技術として次世代 VR へと繋げていくためには, 人工現実感であっても高没入感により現実のような事象を生み出しながら様々なユーザに利用される展開が必要である. 著者らが一般人を対象に2017年の久留米市「まちなか万博」において高所体験 VR コンテンツを展示した経験では, HMD と触覚を組み合わせることで, 実際には床の上にあるため落下することはないが, 足が踏み出せない, 歩行動作

^{*1} 情報ネットワーク工学科, ^{*2} 久留米工業大学大学院, ^{*3} 久留米工業大学
平成30年10月26日受理

が緩慢になる、転倒しそうになるといった、脳が騙されそれに伴う身体動作となるほどの高没入感が得られていることを示すようなクロスモーダル現象が見受けられた。HMD 型 VR は高い没入感をもたらすが、その効果を活用するためには、HMD に表示される視覚刺激とその他の感覚への刺激の組み合わせによる生理面や心理面での基礎的な知見が必要である。

2. 関連研究

VR 刺激の生体に与える影響に関する研究⁽³⁾では、視機能や自己運動感覚における影響を調査し、生体的だけではなく心理的な側面からも同時に総合的に判断する必要性を述べている。HMD における VR 刺激の生理面と心理面への影響を定量的に計測する方法として血圧や心拍数を介して定量的に計測することができるため、この方法を活用した研究も多数あるが、どのような要素が血圧や心拍数に影響を及ぼすのか因果関係を明らかにする必要がある。

また、鳴海らのメタクッキー⁽⁴⁾では、視覚・嗅覚・味覚の感覚間相互作用を用いて味覚を変化させる有効性を示している。飲料に関するものとして、Nimesha ら⁽⁵⁾は、舌の先端での電気刺激や、匂い、色を複合することで水をカクテルのように感じさせるシステムを開発している。様々な物質的刺激を与えれば、ユーザの五感を刺激し高没入感の人工現実を構築できることは容易に想像ができるが、HMD 型 VR における視覚刺激の可能性については依然開拓の余地がある。例えば、視覚情報のみであっても HMD 型 VR がどのような感覚の変化をもたらすのか、その他の刺激との組み合わせで HMD 型 VR の効果が強調するのかといった点を明らかにすることで、より効果的なコンテンツ制作や没入感を高める手法が可能となる。

3. 研究の目的

本研究では、HMD 型 VR における視覚刺激と、その他の感覚の組み合わせによる影響について検証し、その応用の可能性を示す。はじめに、生理指標として心拍変動を用いてユーザへの VR 刺激とその影響を明らかにする。また、心理的な変化として視覚刺激のみによる味覚の誘発の実験を通して、HMD による VR 環境がユーザにもたらす影響について述べ、その応用の方向性を示す。

4. 研究の方法

本研究では、はじめに、高所体験コンテンツによる心拍変動を通して、HMD 型 VR を利活用したコンテンツが生理的に変化をもたらすか検証する。次に、視覚情報のみを用いた VR を用いて味覚誘発実験を通して心理的な変化を検証し、これらの結果から HMD 型 VR の応用の可能性を考察する。

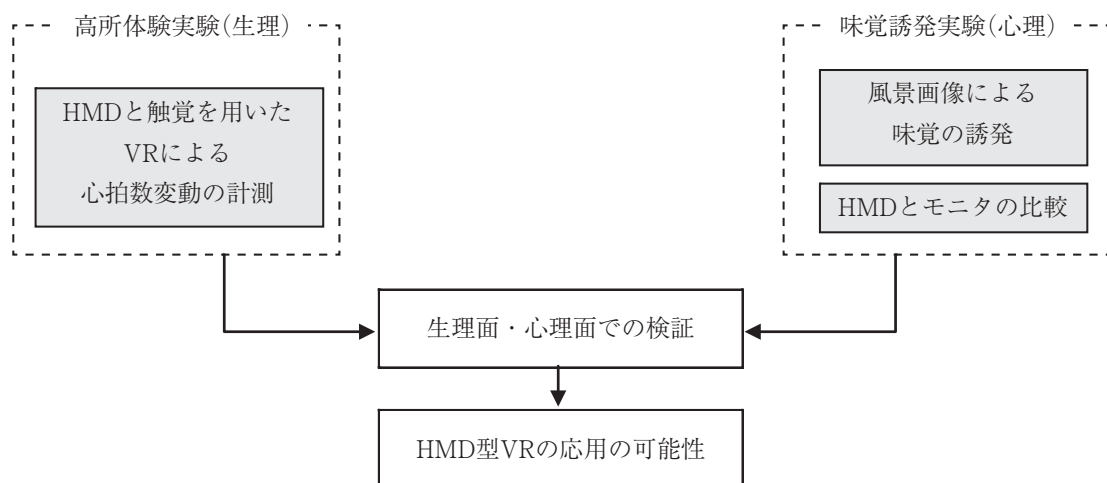


図1 研究方法のフローチャート

5. 高所体験コンテンツにおける心拍数の変化

HMD 型 VR では、ユーザの視界をディスプレイで覆い隠し、コンピュータグラフィックス (CG) 等で視覚情報を置き換えることができる。高所に居るような視覚情報を CG で作成し、更に高所にある板の上を歩いて渡るといった身体動作をユーザに体験させることで、人工環境に没入を促す高所体験コンテンツを構築し、心拍変動を計測する。

5.1 高所体験システムの概要

コンテンツの開発環境として Unity Technologies 社 Unity を利用し、図 2 のような海拔 30m 程の海上空間の白柱にユーザが立っているようなバーチャル空間を作成した。この空間はユーザの視界 360 度すべてに広がって存在する。

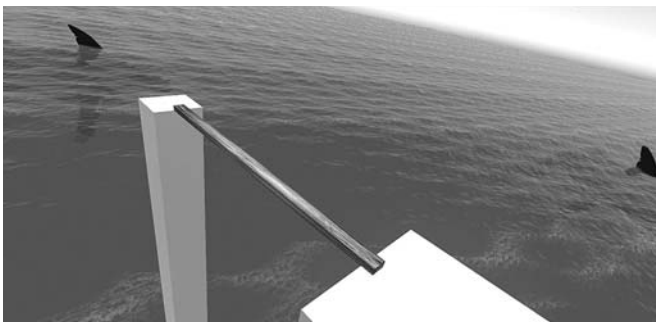


図 2.1 高所体験コンテンツの空間

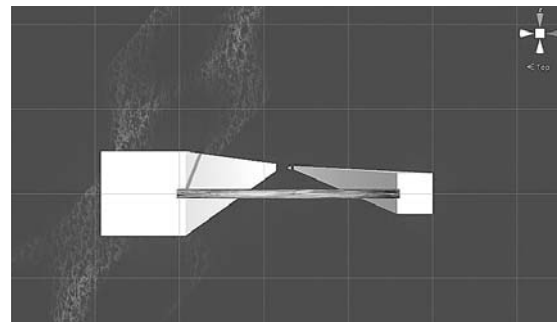


図 2.2 空間の上面図

HMD は Oculus 社 Oculus Rift DK 2、外部の音を遮断し没入感を高めるためにノイズキャンセラ付きの SONY 社ヘッドホン MDR-ZX110NC を用いてさざ波の音を環境音として用意した。また、バーチャル空間の視覚情報と連動した触覚をユーザに与えるため、バーチャル空間と実寸サイズの板を用意した (図 3.1)。これにより、HMD を装着したユーザに現実世界に配置された板が触覚として作用しながら、ユーザは正面にある白柱へ、高所にある板を渡って移動する (図 3.2)。

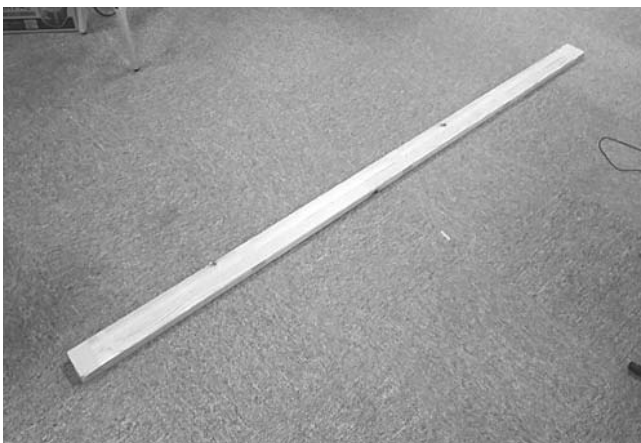


図 3.1 触覚として用いる板



図 3.2 実験の様子

5.2 高所体験システムにおける心拍変動の計測

HMD 型 VR による視覚刺激および触覚刺激、さらに聴覚刺激を付加した際のユーザへの影響を計測するために、視覚刺激、触覚刺激、聴覚刺激の組み合わせによる 4 パターンの実験を行った。実験パターンと刺激の組み合わせは以下の通りである。

- ① HMD を装着して移動する

- ② HMD とヘッドホンを装着して移動する
- ③ HMD を装着し、実存する板の上を移動する
- ④ HMD とヘッドホンを装着し、実存する板の上を移動する

また、心拍計は Bluetooth によるワイヤレス通信が可能な EPSON 社 PS-100BL を利用し、心拍変動を計測した。なお、心拍数の計測については以下の通りに行った。

- ・ 平常時の心拍数は、非体験時の10秒間における計測値の平均とする。
- ・ 4 パターンの刺激における心拍数は実験開始から終了までの計測値の平均とする。

5.3 心拍変動の結果

被験者20名を対象に高所体験コンテンツを試してもらい心拍数を記録した結果が表1である。また、これらの4パターンの実験における心拍数の計測データに差があるかどうかについて、有意水準5%で両側検定の t 検定を行った(表2)。

表1 各被験者の4パターンの刺激による心拍数の平均値 (bpm)

被験者	平常時	①	②	③	④
1	100.80	117.79	111.51	108.44	136.90
2	90.80	86.47	89.17	125.26	94.17
3	112.10	113.00	111.39	109.73	111.39
4	75.00	78.68	91.85	93.53	87.33
5	77.00	76.67	81.63	78.64	135.74
6	70.20	68.95	66.04	72.11	79.58
7	83.80	86.40	86.00	85.86	92.65
8	77.00	75.50	99.28	94.00	106.43
9	83.60	85.11	86.00	88.14	76.38
10	77.90	75.22	74.50	81.40	82.16
11	64.64	77.89	87.81	83.26	89.50
12	99.55	101.18	105.10	104.00	110.87
13	75.00	93.82	99.71	95.62	107.61
14	93.55	93.89	97.29	101.08	97.19
15	86.70	88.50	87.40	92.16	129.47
16	77.00	81.67	83.09	85.59	81.06
17	72.73	88.09	87.19	86.31	91.39
18	73.45	83.55	81.71	85.43	84.00
19	93.82	83.44	92.97	105.06	109.57
20	90.00	96.50	90.78	100.61	106.62
平均	83.73	87.62	90.52	93.81	100.50

表2 4パターンの刺激間の t 検定における確率 p 値

	平常時	①	②	③	④
平常時		0.03305	0.00325	0.00005	0.00020
①	0.03305		0.08123	0.01568	0.00182
②	0.00325	0.08123		0.12151	0.00903
③	0.00005	0.01568	0.12151		0.11747
④	0.00020	0.00182	0.00903	0.11747	

心拍数の平均値では、パターン④が最も高かった。また、t 検定の結果、平常時と HMD を付けた全パターンでは有意差があった。平常時は実験開始前のものであり、今回の体験コンテンツは被験者にとって平常時とは有意差のある体験・行動である。次に、HMD だけを装着した①の場合と、実存する板を用いて触覚を与えた③と④のパターンでは有

意差があった。一方、パターン②とでは、有意差がなかった。パターン②とパターン③、パターン③とパターン④の有意差は認められなかった。

以上のことから、HMD を装着した上で、触覚を与えることにより、心拍数は有意に上昇すること、聴覚よりも触覚が有効であることが認められた。また、触覚と聴覚を組み合わせることで、相乗効果が期待できることが認められた。

5.4 高所体験コンテンツにおける考察

本コンテンツでは、HMD による視覚刺激に加え、音の刺激を与えた場合と、触覚の刺激を与えた場合による実験を行った。t 検定の結果、触覚の刺激が有意に心拍数を上昇させることが分かった。視覚情報と連携したスケール感を持つ触覚を与えることは、より没入感をもたらす、生理的にもユーザに影響がある。

また、聴覚刺激については、HMD を装着した際に触覚および聴覚の両方に刺激を与えた場合は、HMD および触覚刺激の場合よりも、心拍数が上昇する人が70%おり、平均値も最も高く、触覚と聴覚の両方に刺激を与えた場合には相乗効果がある。図4はパターン①とパターン④の心拍数の変化量を相対値で示したもので、平均の変化量は15.25%であり、ウォーミングアップの範囲となる心拍数の向上があった。被験者によっては持久力向上のための有酸素運動に相当する心拍数⁶⁾の上昇もあった。

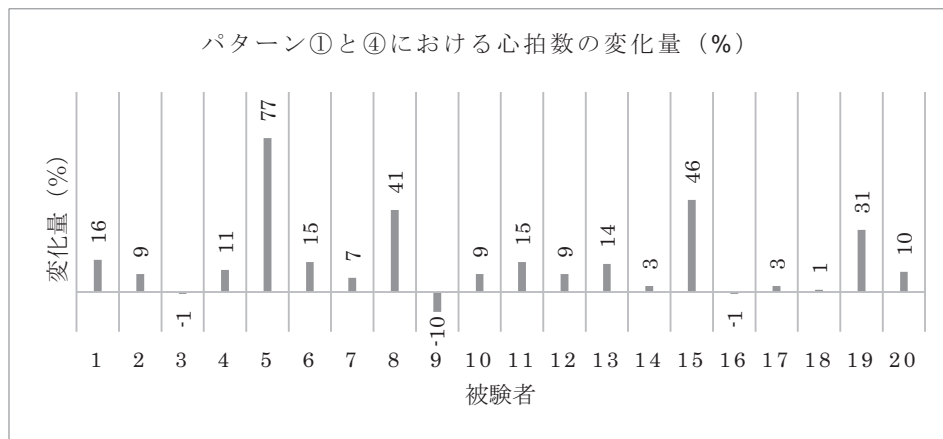


図4 パターン①と④における心拍数の相対的变化

6. 風景空間が誘発する味覚の変化

人の味覚は環境に左右されることがある。例えば、食品や食器類の色彩が味覚に影響を及ぼすとされ、これまでに様々な研究結果が報告されてきた⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。これらの研究より、色彩が味覚に影響を及ぼすことは明らかである。色以外にも風景画像が味覚に影響を及ぼす可能性もあり、特に没入感の強いVRでは、視覚刺激のみでもユーザにもたらす影響があることも予想されるため、ここでは、視覚刺激による味覚への影響について実験し検証する。

6.1 風景画像の選定

はじめに、味覚に影響する風景画像を選別するために、20代の被験者10名を対象にランダムに35枚の風景画像(図5.1)を見せ「味を感じそうか」についてのアンケートをとり、その中でも「味を感じそうである」というアンケート回答の多かった上位3枚(図5.2)をVR表示に対応した風景画像として加工し、画像1・2・3として検証に用いた。



図 5.1 風景画像サンプル



画像 1

画像 2



画像 3

図 5.2 選別し VR 用に加工した風景画像

6.2 モニタと HMD による比較検証実験

次に、6.1で選定した風景画像を用いて、図6のような実験方法により、画像による味覚の変化や、液晶モニタに表示した場合と HMD (Oculus 社 OculusRift) に表示した場合でユーザの感じ方が異なるのかについて被験者に精製水を試飲させる方法で検証した。被験者には中身を知らせずにモニタ表示または HMD 表示により風景画像を見せながら試飲させ、その味覚(酸味, 甘味, 旨味, 塩味, 苦味, 無味, その他のいずれか)を感じたかについて、被験者20人を対象にアンケート調査を行った(図7.1および図7.2)。また、コップの飲料が全て同じものだという先入観をなくすため、画像1による試飲の工程後に、ごく少量の塩を含んだ食塩水(塩分濃度0.1%)を試飲サンプルCとして取り入れた。なお、苦味, 旨味, 甘味は、被験者の舌に味物質が吸着するため余韻が残りやすく、後の試飲に影響が出やすいため、味の減衰が比較的早く、次の試飲に影響が出にくい塩味とした。

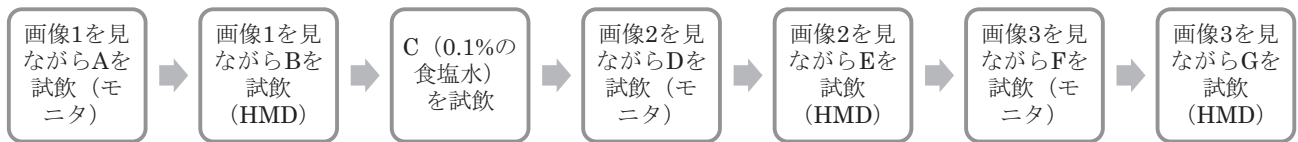


図 6 モニタ表示と HMD 表示における試飲実験

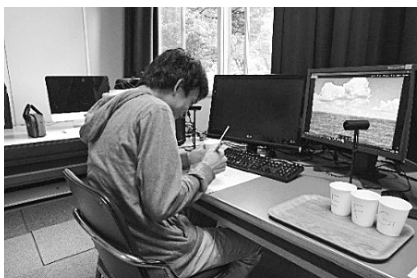


図 7.1 モニタ表示の試飲実験



図 7.2 HMD 表示の試飲実験

6.3 味覚実験の結果

6.2の味覚の評価結果は表3となった。なお、表中の*は、何らかの変化を感じたという回答を示している。

表3 モニタ表示とHMD表示における味覚評価の実験結果

被験者	画像1 モニタ	画像1 HMD	食塩水	画像2 モニタ	画像2 HMD	画像3 モニタ	画像3 HMD
1	無	無	塩	無	無	無	*
2	無	甘	塩	無	無	無	塩
3	無	無	無	無	塩	無	無
4	無	無	塩	塩	塩	無	旨
5	無	無	塩	無	無	無	無
6	甘	旨	*	無	無	無	無
7	甘	甘	塩	無	無	酸	酸
8	無	無	塩	無	無	無	無
9	無	*	*	無	旨	無	無
10	無	無	塩	無	無	甘	甘
11	無	甘	塩	塩	塩	無	旨
12	無	旨	酸	塩	塩	無	旨
13	甘	甘	酸	無	塩	旨	旨
14	無	酸	旨	無	無	無	苦
15	塩	旨	酸	塩	塩	旨	旨
16	無	無	塩	甘	無	無	旨
17	甘	甘	塩	酸	酸	酸	酸
18	無	無	塩	無	無	無	酸
19	甘, 苦	甘, 苦	旨, 塩	苦	苦	苦	苦
20	無	甘	塩	塩	塩	無	甘

6.4 味覚実験の考察

風景画像が味覚に及ぼす影響について、風景画像をモニタもしくはHMDで見ながら精製水の試飲を行うことで検証した。さらに、なんらかの味覚を感じたという回答を1、無味の回答を0とし、モニタ表示とHMD表示による視覚刺激の味覚誘発の差があるかどうかについて画像ごとに有意水準5%で片側検定のt検定を行ったところ、画像1は $p=0.005081$ (<0.025)、画像2は $p=0.164938$ 、画像3は $p=0.000437$ (<0.025)となり、画像1と3については、モニタ表示とHMD表示では味覚の誘発に有意差があるといえる。また、画像に関係なくモニタ表示とHMD表示で味覚誘発に差はあるのかについて、被験者ごとの味覚を感じた回数をもとに、有意水準5%で片側検定のt検定を行ったところ、 $p=0.000175$ (<0.025)となり、HMD表示は、モニタ表示よりも味を感じる回数が多いといえる。

また、画像1の味覚、画像2の味覚、画像3において誘発された味覚を分類したものを図8に示す。画像1は甘味が63%と最も多く、画像2は塩味が67%、画像3は旨味が37%、酸味が26%となった。これらの結果における画像1と画像3は、奥田らによる食品の色彩と味覚の関係⁽¹⁾の研究結果にも準じており、風景画像が持つ色彩に関しても食品の色彩同等、味覚に影響を及ぼす事が認められた。

ここで特に注目する点は、画像2により誘発された味覚である。過去の研究では、甘味や酸味については、色彩による影響があったが、塩味については影響がないと報告するものが多く、塩味についての報告はほとんど見当たらない。しかしながら、本研究では画像2によって誘発された味覚のうち塩味が大きな割合を占めており、モニタ表示では25%の被験者、HMD表示では35%の被験者に塩味が誘発しており、塩味の誘発効果現象が存在する可能性が高い。また、画像2についてはモニタとHMDの差がないという結果であったが、画像2そのものが表示媒体の影響を受けずに、被験者の味覚体験や連想を引き出すような要素を持った画像であると仮定することもできる。HMD表示はモニタ表示よりも味覚を有意に誘発するというt検定の結果も考慮して総合的に言及すると、「HMDユーザに刷り込まれた体験を引き出すような要素を持った風景画像」をHMD型VR空間に展開することで、今までの関連研究では得られなかった塩味を誘発する可能性がある。しかしながら、実験の手順で画像2の直前に食塩水を試飲した影響がある可能性も否定できないため、追加実証が必要である。

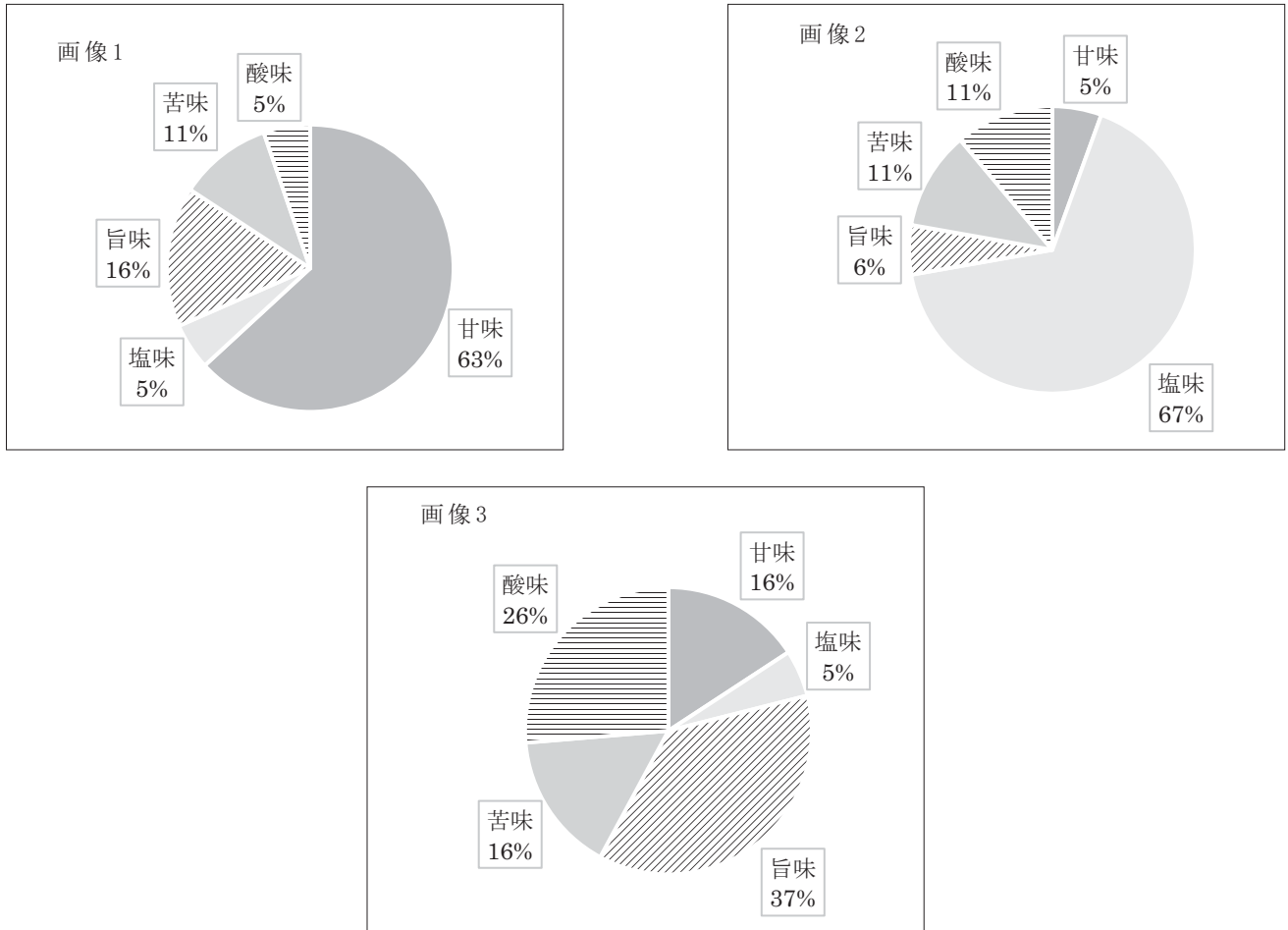


図8 各画像において誘発された味覚の分類

7. まとめ

本研究では、HMD 型 VR の被験者への生理面・心理面への実験を通して、その影響について示した。生理面では、視覚と触覚の組み合わせは有意に心拍数を上昇させることができる。このことから、実践に近い訓練やスポーツ分野への応用も期待できる。また、心理面では HMD 表示の視覚刺激のみによる味覚の誘発の実験を通して、塩味の誘発効果の可能性が期待できると同時に、HMD 表示は、視覚刺激として有効である。そのため、3 DCG で時系列変化を伴う高没入感の人工環境を表現することで、塩味誘発の可能性があり、例えば、減塩治療への利用が期待できる。

8. 今後の課題

本研究の高所体験コンテンツでは、聴覚については付加的な要素として扱っており、心拍変動における聴覚の優位性は見いだせなかった。しかし、聴覚を付加した場合の心拍数の平均値は最も高かった。そのため、環境音を工夫することでその効果も期待できるため、継続した実験により基礎的知見を収集する必要がある。また、味覚誘発の実験では、HMD 表示の効果が確認でき、味覚誘発の現象も存在した。しかし、実験の手順に設けた食塩水が他に影響を与えた可能性や被験者の過去の体験や体調などに左右されやすいこともあるため、被験者の背景と関連付けながら更にデータを収集する必要がある。

謝 辞

各種実験にご協力いただきました、本学学生および教職員の皆様に感謝申し上げます。また、本研究の一部は、平成29年度久留米工業大学学長裁量経費の助成を受けたものです。

文 献

- (1) Morton Heilig, Telesphere Mask, patented in 1960 as #2,955, 156.
- (2) Susumu Tachi, From 3D to VR and further to Telexistence, Proceedings of the 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence, pp.1-10, 2013.
- (3) 井野秀一, VR 刺激の生体への影響, バイオメカニズム学会誌25(2), 75-80, 2001.
- (4) 鳴海拓志, 谷川智洋, 梶波崇, 廣瀬通孝, メタクッキー: 感覚間相互作用を用いた味覚ディスプレイの検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌15巻4号, pp. 579-588, 2010.
- (5) Nimesha Ranasinghe, Thi Ngoc Tram Nguyen, Yan Liangkun, Lien-Ya Lin, David Tolley, Ellen Yi-Luen Do, Vocktail: A Virtual Cocktail for Pairing Digital Taste, Smell, and Color Sensations, Proceedings of the 2017 ACM on Multimedia Conference, pp.1139-1147, 2017.
- (6) Seiko Epson 社, 心拍トレーニングとは, [online] <https://www.epson.jp/products/myakuhaku/training.htm>, 2018年10月25日アクセス.
- (7) George H Van Doorn, Dianne Willemin and Charles Spence, Does the colour of the mug influence the taste of the coffee?, Flavour 2014. 3. 10.
- (8) 数野千恵子, 渡部絵里香, 藤田綾子, 増尾侑子, ゼリーの色が味覚の判別に与える影響, 実践女子大学生生活科学部紀要43号, 1-7, 2006.
- (9) 木下武志, 松田憲, 綾部かとり, 色が味覚イメージに及ぼす影響, 芸術工学会誌54号, 107-112, 2010
- (10) 富田圭子, 小野真紀子, 勝部あゆみ, 饗庭照美, 康薔薇, 大谷貴美子, 味を表す言葉と色のイメージ~甘味と鹹味~, 日本色彩学会誌30, 80-81, 2006.
- (11) 奥田弘枝, 田坂美央, 由井明子, 川染節江, 食品の色彩と味覚の関係~日本の20歳代の場合~日本調理科学会誌35(1), 2-9, 2002.