Advance Publication by J-STAGE

日本機械学会論文集

Transactions of the JSME (in Japanese)

DOI:10.1299/transjsme.21-00187

Received date : 14 June, 2021

Accepted date : 12 October, 2021

J-STAGE Advance Publication date : 20 October, 2021

瞳孔表現メディアにおける瞳孔面積が印象形成に及ぼす影響

瀬島 吉裕^{*1}, 川本 宙輝^{*2}, 佐藤 洋一郎^{*3}, 渡辺 富夫^{*4}

Effects of pupil area on impression formation in pupil expression media

Yoshihiro SEJIMA^{*1}, Hiroki KAWAMOTO^{*2}, Yoichiro SATO^{*3} and Tomio WATANABE^{*4}

^{*1} Faculty of Informatics, Kansai University

2-1-1 Ryozenji-cho, Takatsuki-shi, Osaka 569-1095, Japan

^{*2} PEOPLE SOFTWARE CORPORATION

1-7-2 Achi, Kurashiki-shi, Okayama 710-0055, Japan

^{*3,*4} Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Okayama Prefectural University

111 Kuboki, Soja-shi, Okayama 719-1197, Japan

Abstract

Pupils give favorable impressions to humans depending on their size. Focusing on effects of the pupil size, various pupil sizes were evaluated using human images as stimulations in previous researches. However, it is difficult to express an extreme pupil size in a face image due to a limited area of eyes. In addition, the evaluation of pupil size itself is hard because impressions in human images are formed depending on not only the pupil size but also other facial parts. In order to evaluate impressions of the pupil size itself, it is desirable to extract only the pupil and exclude other facial parts. In this study, we analyzed impressions on various pupil sizes that combined the dilation / contraction using two kinds of pupil expression media that have been developed so far. In the analysis, the impression evaluation obtained by the SD method was factor-analyzed. As the result of factor analysis, three factors were extracted: acceptability, reliability, and curiosity. Acceptability and reliability factors had a certain peak, and curiosity factor was proportional to the pupil size. These analysis results demonstrated that a certain dilated area of pupil could form a favorable impression regardless of pupil expression media.

Keywords : Non-verbal communication, Pupil expression, Affective expression

1. 緒 言

“目は口ほどにものをいう”という諺があるように、人と人とのコミュニケーションにおいて、目は多くの情報を無意識的に他者に伝え、対話相手はその情報から話者の情動や感情を読み取り、意思疎通を図っている。とくに視線情報を生み出す眼球運動は、発話権の授受や、情動表出等、コミュニケーションにおける意思疎通の手掛かりとして重要な役割を果たしている (Kendon, 1967, Argyle and Dean, 1965)。その中でも、眼球内における瞳孔は、自律神経に支配されていることから、瞬き (広田他, 2014) や呼吸 (吉田他, 1993) 等の生理的側面だけでなく、自身の興味関心 (Hess, 1965) 等の情動的側面にも密接に関連することが知られている。そのため、先行研究において刺激に対する瞳孔反応から、人間の無意識的な情動を推測する調査が数多くなされてきた (石川, 金子, 2014, 河合他, 2012, Zhang et al., 2019)。さらに、情動表出に伴う瞳孔の拡大・縮小が人物の印象形成に影響する可能性が報告されている (Hess, 1975)。瞳孔の大きさが与える印象については、対人魅力 (米谷, 1994, Tombs and

No.21-00187 [DOI: 10.1299/transjsme.21-00187]

本論文は、第30回設計工学・システム部門 講演論文集(2020), No.2409の掲載内容に基づいた論文である。

^{*1} 正員, 関西大学 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1-1)

^{*2} ピープルソフトウェア (株) (〒710-0055 岡山県倉敷市阿知1-7-2)

^{*3} 岡山県立大学 情報工学部 (〒719-1197 岡山県総社市窪木111)

^{*4} 正員, フェロー, 岡山県立大学 情報工学部

E-mail of corresponding author: sejima@kansai-u.ac.jp

Silverman, 2004) や、感情評価への影響 (大坂他, 2002, Harrison et al., 2007), 瞼形状との関係 (竹原, 谷尻, 2015) 等を対象として多くの調査がなされ、瞳孔の大きさによって異なる印象が形成されることが確認されてきた。

このように、瞳孔はコミュニケーションにおける無意識的な情動が表出されるだけでなく、その大きさによって印象が変化する重要なインタフェースである。そのため、瞳孔の大きさそのものが与える印象を分析し、その特徴を明らかにすることで、瞳孔の大きさをも含めた新たな情動表現手法の設計指針となり得る。しかしながら、これまで行われてきた瞳孔の大きさに対する印象評価では、人物の顔画像を刺激としていることから、人物の虹彩や眼球・瞼形状に依存して瞳孔の大きさを加工する必要があるため、極端な瞳孔の大きさに対する検討は不十分である。さらに、瞳孔の大きさのみを評価しようとしても、眼球以外の人物の口や鼻、眉毛等の他部位の形状に依存して印象が形成されると予想される。すなわち、従来の瞳孔の大きさに関する印象評価は、他部位の影響が混在する等、必ずしも瞳孔の大きさそのものの影響を評価しているとは言い難い。

瞳孔の大きさそのものが与える印象を評価するには、目の部位のみを抽出し、他部位を出来る限り排除した、人物の構成要素に依存しない表現が望ましい。著者らはこれまでに、コミュニケーションにおける瞳孔反応に着目し、瞳孔反応を表現する人型 CG キャラクタ (Sejima et al., 2016) や、半球ディスプレイを用いて瞳孔反応のみを表現する瞳孔反応インタフェース (Sejima et al., 2019) を開発してきた (図 1)。これらのシステムでは、人物や瞳孔等の 3D モデルを仮想空間上に投影しており、瞳孔を表現する 3D モデルを自由に加工・制御することで、瞳孔の拡大・縮小を生成している。さらに、これら 2 種類の瞳孔表現メディアを用いてコミュニケーション実験を行った結果、コミュニケーション時の音声に同調して瞳孔面積が 1.5 倍まで拡大する動的反応を生成することで、親近感や熱意等の情動伝達が向上することを示している (Sejima et al., 2016, Sejima et al., 2019)。したがって、ロボットや身体的エージェント・アバタといった様々なメディアを介した対話インタフェースに瞳孔をも含めた情動表現を導入することで、円滑で友好的な関係性の構築が期待される。このような瞳孔反応による動的なインタラクションを設計するには、瞳孔の大きさや速度、生成タイミング等の制御パラメータに対する人間の印象特性を把握することが重要である。とくに、上述したように瞳孔の大きさは情動表出に影響を与えることから、瞳孔の大きさ自体がもたらす静的な印象特性に基づいた設計が望ましい。しかしながら、人物の構成要素に依存しない表現メディアにより瞳孔の大きさを評価するアプローチはこれまでなされていなかった。

そこで本研究では、これまで開発してきた 2 種類の瞳孔表現メディアを用いて、異なる瞳孔の大きさが与える印象の相違について分析した。具体的には、瞳孔の拡大・縮小を組み合わせた 8 種類の瞳孔面積を選定し、形容詞対を用いた SD 法による印象評価を行った。さらに、因子分析により、好印象をもたらす瞳孔の大きさについて検討した。

2. 印象評価実験

2・1 瞳孔表現メディア

これまで開発してきた瞳孔反応 CG キャラクタ (Sejima et al., 2016) を図 1(a)に、瞳孔反応インタフェース (Sejima et al., 2019) を図 1(b)に示す。瞳孔反応 CG キャラクタは、モデリングソフト Metasequoia により作成し、Microsoft DirectX 9.0 SDK (June 2010) を用いて仮想空間上に描画している。瞳孔の大きさは、黒色の 3D モデルを拡大・縮

Fig.1 Expression media of pupil.

小することで調整している．とくに，白目となる球体の 3D モデルに対して，虹彩を表現する範囲を違和感のない程度に押し込むことで，瞳孔の拡大範囲を拡張できるデザインとしている．また，人型を表象していることから，虹彩の色は馴染みのあるキャラクター性として，アジア系に多い茶色を採用している．

瞳孔反応インタフェースは，半球ディスプレイ（Gakken WORLDEYE）を用いて PC から出力された黒色の瞳孔部と青色の虹彩部からなる 3D モデルを描画している．ここでは，瞳孔反応インタフェースの見た目が眼球であることから，キャラクター性を必要としないことに加え，ディスプレイ上で瞳孔と虹彩の識別が容易な青色を採用している．さらに，仮想空間全体を白色に設定することで，眼球の白目を模擬している．瞳孔の大きさは，人型 CG キャラクタと同様の方法で調節ができる．とくに，半球ディスプレイの大きさは直径 250mm で，人間の成人の眼球サイズはおよそ 25mm (Bekerman et al., 2014) であることから，半球ディスプレイは約 10 倍の大きさとなる．そのため，半球ディスプレイの大きさを基準として瞳孔の大きさを表現している．

本研究では，これまで開発してきた 2 種類の瞳孔表現メディアを用いて瞳孔の大きさがもたらす印象特性を明らかにすることを目的とし，印象評価実験を行った．

2・2 瞳孔面積の選定

Hess (Hess, 1975) は，実験協力者に瞳孔が描かれていない「幸せそうな人の顔」と「怒った顔の人」の線画を見せ，それらに瞳孔部分を描かせる実験を行った．その結果，実験協力者は「幸せそうな人の顔」には大きな瞳孔を，「怒った人の顔」には小さな瞳孔を描くことが観察され，大きな瞳孔は小さな瞳孔よりも肯定的に知覚されることが示された．また，近年の研究によれば，大きな瞳孔は肯定的に，小さな瞳孔は否定的に知覚されるという知見も存在する (Amemiya and Ohtomo, 2012, Demons et al., 2008, Harrison et al., 2006)．これらのことから，瞳孔の大小，すなわち瞳孔面積の相違を検討・議論する上で，基準となる瞳孔面積を設けることが望ましい．

そこで本研究では，先行知見 (酒井他，2001) を参考に，一般照明下 (500lx 程度) における平均的な瞳孔径を約 4mm とした場合の瞳孔面積を基準 (1.0 倍) とした．さらに，瞳孔面積を縮小した 3 種類 (A:0.4 倍，B:0.6 倍，C:0.8 倍) のモード，瞳孔面積を拡大した 4 種類 (E:1.2 倍，F:1.5 倍，G:2.0 倍，H:2.5 倍) のモード，および基準である D:1.0 倍のモードを加えた 8 種類を選定した (図 2)．縮小提示である 0.8 倍は，コミュニケーションにおける聞き手のうなずき動作時の瞳孔面積の倍率である (前田他，2018)．0.6 倍および 0.4 倍は，縮小提示の誇張表現とした．また，拡大提示である 1.2 倍および 1.5 倍は，コミュニケーションにおける話し手の発話時の瞳孔面積の倍率である (Sejima et al., 2019)．2.0 倍および 2.5 倍は，拡大提示の誇張表現とした．瞳孔表現メディアへの実装方法は以下の通りである．まず，人間の虹彩に対する瞳孔面積の割合を参考に，基準となる 1.0 倍 (モード D) を作成した．これを 600mm 離れた位置から固定カメラで撮影し，Microsoft PowerPoint の円描画ツールを用いて瞳孔面積を算出した．これを基準として面積比が 0.4 倍から 2.5 倍となるように 3D モデルの大きさを調節した (川本他，2019)．

2・3 実験方法

本実験では，実験協力者を評価対象とする瞳孔表現メディアの前に着席させ，瞳孔の大きさに対する印象評価を行った．瞳孔表現メディアと実験協力者との距離は約 600mm とし，楽な姿勢で観察させた．評価には SD 法を用いて，「暗い - 明るい」や「緊張した - 安心した」などの 18 項目から構成される形容詞対を，0 を中立（どちらでもない）とした 7 段階で評価させた．この 18 項目の形容詞対は，予備調査として事前に抽出した 60 項目のうち，項目間の相関分析を行うことで選定した．比較モードの提示順は，順序効果を考慮してランダムとし，カウンターバランスをとった．実験後に自由記述を設けてコメントを記入させた．実験協力者は，20 歳～ 25 歳の男女 60 名（男性 36 名，女性 24 名）で，各表現メディアの評価は別日程で行った．なお，本実験は岡山県立大学倫理委員会の承認を得た上で，実験協力者に対して実験の主旨を説明し，同意を得て行った．

Fig. 2 Comparison modes.

3. 実験結果

3・1 印象評価実験の結果

図 3 に全実験協力者の印象評価の結果を示す．同一色で示される点および線は，それぞれ同一モードの結果であり，各形容詞対の平均値を示している．先行研究において人工物に対する印象は，性別間で影響が異なる可能性が指摘されている（野村，三ツ中，2016）ことから，本実験においても性別間での分析を行った．具体的には，性別ごとに各モードに対する平均値を求め，各モード間の相関係数を求めた．次に，各モード間に対する相関係数の平均値を求めた結果，瞳孔反応 CG キャラクタにおける相関係数は 0.84 ± 0.07 ，瞳孔反応インタフェースにおける相関係数は 0.83 ± 0.12 となり，性別間では同様の評価傾向であることが確認された．そのため，全実験協力者による印象評価を対象として分析する．その結果，いくつかの評価傾向が確認できる．例えば，図 3(a) における「つめたい (Cold) 」，「人工的な (Artificial) 」，「無愛想な (Unfriendly) 」，「親しみにくい (Unfamiliar) 」という印象として評価されたのは，瞳孔面積を極端に誇張したモード A，モード B，モード H である．それに対して，「おだやかな (Calm) 」，「自然な (Genuine) 」，「愛想のよい (Friendly) 」，「親しみやすい (Familiar) 」という印象として評価されたのは，瞳孔面積を適度に拡大したモード D，E，F である．つまり，瞳孔面積を適度に拡大したモードは好印象として評価されるが，誇張したモードでは好印象として捉えにくいことが確認される．また，図 3(a) と図 3(b) を比較すると評価傾向は類似しており，とくに図 3(b) の瞳孔反応インタフェースに対する評価特徴が図 3(a) の瞳孔反応キャラクタよりも顕著である．このように，瞳孔表現メディアや瞳孔面積によって評価傾向の相違が確認されることから，因子分析により詳細な解析を行った．

Fig. 3 Results of impression evaluation.

3・2 因子分析

本研究では、統計解析ソフトウェア SPSS を用いて因子分析を行った。因子抽出法は主因子法、回転方法はプロマックス法とした。また、各評価項目において天井効果と床効果の有無を確認した結果、天井効果および床効果は認められなかった。抽出する因子の数は、スクリープロットに基づいて3とした。

表1に瞳孔反応CGキャラクタに対する因子分析結果を示す。表には因子負荷量を示しており、第3因子までの累積寄与率は57%であった。この結果から、本分析では因子負荷量が0.45以上を基準として因子の解釈、すなわち因子名の決定を行った。第1因子は「親切的な (Kind)」「あたたかい (Warm)」「安心した (Relaxed)」「親しみやすい (Familiar)」「おだやかな (Calm)」「愛想のよい (Friendly)」「自然な (Genuine)」「楽観的な (Optimistic)」「明るい (Bright)」「上品な (Elegant)」の項目が抽出されたことから“受容性 (Acceptability)”とした。第2因子は「たくましい (Strong)」「頼もしい (Reliable)」「意欲的な (Energetic)」「積極的な (Positive)」「覚めた (Arousing)」の項目が抽出されたことから“信頼性 (Reliability)”とした。第3因子は「下品な (Inelegant)」「感情的な (Emotional)」「子どもっぽい (Childish)」「派手な (Conspicuous)」の項目が関連していたことから“好奇心 (Curiosity)”とした。

表2に瞳孔反応インタフェースに対する因子分析結果を示す。第3因子までの累積寄与率は63%であった。第1因子および第2因子における抽出された形容詞対は、表1における第1因子および第2因子と同様であることから、それぞれ“受容性”と“信頼性”とした。第3因子においては、表1の第3因子において抽出された形容詞対に「はげしい (Fierce)」が追加されているものの、好奇心の性質として解釈できることから“好奇心”とした。

Table 1 Result of factor analysis
in the pupil response CG character.

Adjective pair	Acceptability	Reliability	Curiosity
Cold - Kind	0.913	-0.148	0.209
Hostile- Warm	0.843	-0.053	0.238
Tense - Relaxed	0.826	-0.060	-0.082
Unfriendly - Friendly	0.813	0.123	-0.020
Fierce - Calm	0.793	-0.265	-0.314
Unfamiliar - Familiar	0.788	0.115	0.130
Genuine - Artificial	-0.739	-0.027	0.146
Pessimistic - Optimistic	0.690	0.047	0.184
Dark - Bright	0.585	0.230	0.125
Inelegant - Elegant	0.526	0.187	-0.505
Weak - Strong	-0.018	0.756	-0.159
Unreliable - Reliable	0.233	0.727	-0.201
Lethargic - Energetic	0.196	0.658	0.117
Negative - Positive	0.144	0.632	0.183
Arousing - Sleepy	0.411	-0.607	0.008
Unemotional - Emotional	-0.100	0.005	0.724
Mature - Childish	0.209	-0.181	0.484
Obscure - Conspicuous	-0.039	0.317	0.451

Table 2 Result of factor analysis
in the pupil response interface.

Adjective pair	Acceptability	Reliability	Curiosity
Hostile- Warm	0.830	-0.072	0.351
Unfriendly - Friendly	0.829	0.050	0.018
Cold - Kind	0.824	-0.086	0.255
Unfamiliar - Familiar	0.784	0.018	0.256
Tense - Relaxed	0.763	-0.011	-0.239
Fierce - Calm	0.694	-0.177	-0.487
Genuine - Artificial	-0.685	0.110	0.305
Dark - Bright	0.608	0.090	0.193
Pessimistic - Optimistic	0.580	0.288	0.116
Inelegant - Elegant	0.496	0.104	-0.486
Weak - Strong	-0.088	0.867	-0.114
Unreliable - Reliable	0.194	0.827	-0.385
Negative - Positive	0.034	0.733	0.183
Lethargic - Energetic	0.182	0.600	0.275
Arousing - Sleepy	0.187	-0.475	-0.129
Unemotional - Emotional	0.021	-0.036	0.736
Mature - Childish	0.244	-0.095	0.653
Obscure - Conspicuous	-0.088	0.408	0.530

以上のことから、因子分析によって抽出された潜在因子は、瞳孔表現メディアの違いにかかわらず“受容性”，“信頼性”，“好奇心”の3因子になると考えられる。

3・3 因子得点によるマッピング

抽出された3つの因子について、SPSSを用いて各モードの平均因子得点を算出した。ここで本研究では、瞳孔面積の違いが与える印象の分析を目的としていることから、瞳孔面積の変化率を横軸、算出された各因子得点を縦軸としてマッピングすることで、瞳孔面積の変化に対する分析を行った。瞳孔反応CGキャラクタに対する因子得点布置図を図4に、瞳孔反応インタフェースに対する因子得点布置図を図5に示す。両図において、それぞれ図4(a)と図5(a)は“受容性”，図4(b)と図5(b)は“信頼性”，図4(c)と図5(c)は“好奇心”を示している。さらに、これらの布置図に対して、多項式近似によるフィッティングを行った。算出された多項式近似も併せて図中に施している。

“受容性”については、図4(a)においてモードA(0.4倍)からモードD(1.0倍)にかけて増加傾向で、モードEおよびFは横ばいとなり、モードG(2.0倍)から減少している。図5(a)では、モードA(0.4倍)からモードF(1.5倍)にかけて増加し、モードGから減少している。多項式近似では、両図において1.5倍を頂点とした上に凸の二次曲線となり、決定係数は図4(a)では0.94、図5(a)では0.90となった。そこで両図における因子得点に対する相関係数を求めた結果、0.95となり、無相関検定を行った結果、有意水準1%で有意差が認められた。これらのことから、“受容性”にはモードF(1.5倍)付近にピークが存在していると考えられ、そのピークから離れるにつれて低下すると考えられる。また、自由記述において「瞳孔が大きすぎると怖い印象だった」、「黒目が小さすぎたら怖いと思った」等のコメントが得られていることから、極端な瞳孔の大きさに対しては受容性が低下すると考えられる。

次に、“信頼性”については、図4(b)においてモードA(0.4倍)からモードD(1.0倍)にかけて増加し、モードEおよびFは横ばいとなり、モードG(2.0倍)から減少している。図5(b)では、モードA(0.4倍)からモード

Fig.4 Factor score in the pupil response CG character.

Fig.5 Factor score in the pupil response interface.

ド G (2.0 倍) にかけて増加し、モード H は横ばいとなった。多項式近似では、両図において頂点が異なるものの上に凸の二次曲線となった。決定係数は図 4(b)では 0.92、図 5(b)では 0.96 となった。そこで両図における因子得点に対する相関係数を求めた結果、0.79 となり、無相関検定を行った結果、有意水準 5%で有意差が認められた。これらのことから、“信頼性”においても、“受容性”と同様にピークが存在すると考えられる。但し、人物

を表現した瞳孔反応 CG キャラクタでは、モード F 付近にピークが想定されるが、目のみを表現した瞳孔反応インタフェースでは、2 倍以降に存在すると考えられる。すなわち、目のみの印象であれば、瞳孔面積を 2 倍以上とすることで信頼性が高まるものの、他の構成要素との相対比率を勘案すると 1.5 倍程度が望ましいものと考えられる。これは、目のみの印象評価では、比率対象となる顔の大きさの情報が排除されていることから、瞳孔の大きさがもたらす印象が他の構成要素に依存することなく評価された結果であると考えられる。

最後に、“好奇心”については、図 4(c)においてモード B (0.6 倍) からモード H (2.5 倍) にかけて増加している。図 5(c)でも同様の評価傾向となり、増加の傾きが急峻である。多項式近似では、両図において線形近似となった。決定係数は図 4(c)では 0.89、図 5(c)では 0.94 となった。そこで両図における因子得点に対する相関係数を求めた結果、0.94 となり、無相関検定を行った結果、有意水準 1%で有意差が認められた。これらのことから、“好奇心”は瞳孔面積の拡大とともに高くなっていることが分かる。したがって、瞳孔の大きさが増大するにつれて、好奇心が高まることが示された。

また、図 4 におけるゼロクロスを考慮した場合、モード E、モード F、モード G の 3 つが全ての因子において正に位置していることが分かる。図 5 におけるゼロクロスでは、モード E とモード F が全ての因子において正に位置している。これらのことから、瞳孔表現メディアにかかわらず、好ましい瞳孔の大きさはモード E (1.2 倍) とモード F (1.5 倍) であることが考えられる。すなわち、たとえ瞳孔が変化しなくとも、瞳孔の面積比率を 1.2 倍～1.5 倍とすることで、好印象効果が期待される。

4. 考察

4・1 動的な瞳孔表現との比較

先行研究では、瞳孔反応キャラクタがコミュニケーション時の音声に同調して瞳孔面積が 1.5 倍まで拡大する表現を行うことで、安心感が増大することが示されている (Sejima et al., 2016)。さらに、瞳孔反応インタフェースを用いて通常時と比較して瞳孔面積が 1.2 倍、1.5 倍、2.0 倍の大きさになるまで拡大反応する 3 種類のモードについて一対比較実験と 7 段階評価実験を行った (Sejima et al., 2019)。その結果、一対比較実験では、瞳孔面積が通常時から 1.5 倍の大きさまで拡大するモードが最も好ましいと評価され、続いて 1.2 倍まで拡大するモード、2.0 倍まで拡大するモードとなっていた。7 段階評価実験では、「親近感」、「相手からの視線」等の項目で、評価値が有意に高くなった。また、自由記述欄においても、通常時から 1.5 倍の大きさまで拡大するモードは、「人間らしさを感じる」、「伝えたい熱意を感じる」などのコメントが得られた。一方で、通常時から 2.0 倍の大きさまで拡大するモードでは、7 段階評価実験において評価値が有意に低く、「圧迫感を感じる」、「感情がないように感じた」などのコメントが得られた。

本実験では、瞳孔表現メディアにかかわらず、基準となるモード D (1.0 倍) と比較して、モード F (1.5 倍) は、全ての因子において得点の向上が確認されることから、先行研究の知見と一致する。とくに、瞳孔反応インタフェースにおける比較では、先行研究 (Sejima et al., 2016) における拡大率がそれぞれモード E (1.2 倍)、モード F (1.5 倍)、モード G (2.0 倍) に対応しており、コミュニケーションの観点では、受容性の評価傾向と一致している。すなわち、瞳孔に対する印象形成には受容性の因子が影響を与えていると考えられ、過度な瞳孔の拡大・縮小表現はコミュニケーションにおいてネガティブな印象として捉えられる可能性が高い。

一方で、好奇心に対しては、瞳孔面積の拡大とともに向上する傾向が示されている。先行研究において、人間は物珍しさや目新しさ等の新奇性と、親近感や愛着等の親近性の軸により興味が誘発されるという報告がある(高橋他, 2011)。この知見を本実験結果に適用すると、瞳孔を過度に拡大することで新奇性が得られやすくなる一方で、親近感等の親近性は低下する恐れがある。あるいは、瞳孔の拡大率が小さい場合は、親近性は高いものの、新奇性が低下し、相補的な興味継続が困難となる。そのため、瞳孔の拡大率を一定ではなく、コミュニケーションの状態に応じてデザインすることで、興味持続へつながる可能性が考えられる。

また、瞳孔反応インタフェースの応用として、子ども（6歳～12歳までの男女60名）との遊びインタラクションにおいて、音声に同調させて瞳孔面積を1.5倍まで拡大する反応を提示した結果、瞳孔の拡大が好まれる傾向にあることが示されている（瀬島他，2018）．子ども（6歳～12歳）は成人と比較して、テレビや漫画等の様々なメディアから瞳孔に関する事前学習や知識獲得量が小さいと想定されるにもかかわらず、瞳孔の拡大反応に対して肯定的な評価であった．このことから、瞳孔反応メディアにおける瞳孔の適度な拡大表現に対する印象は、事前知識や年齢層にかかわらず好印象をもたらすと予想される．しかしながら、本研究および先行研究での実験協力者は比較的若年層であることから、幅広い年齢層に対して引き続き調査を行う必要がある．

4・2 表現メディアにおける印象の違い

竹原らは、黒目の大きさと顔の形状に着目し、それらの変化が女性の顔の魅力にどのような影響を及ぼすのかを検討した（竹原，谷尻，2015）．この実験では、一重瞼および二重瞼の女子大学生の各4人の顔から作成した平均顔における黒目の大きさを100%とし、黒目を縮小した75%、やや拡大した125%、誇張させた200%の各顔画像刺激に対して印象評価を行った．その結果、一重瞼および二重瞼のいずれの場合においても、100%および125%が、75%および200%より違和感が無いことを示している．

本実験では、人間を模擬した瞳孔反応CGキャラクタを用いて印象評価を行った結果、図4におけるモードD（1.0倍）を基準とした場合、縮小提示したモードC（0.8倍）に対しては全ての因子において評価が低く、やや拡大したモードE（1.2倍）に対しては全ての因子において同程度の評価、誇張させたモードG（2.0倍）は受容性や信頼性が低下するものの、好奇心は高い評価となった．この結果は、先行研究の評価傾向と類似している．適度に拡大したモードF（1.5倍）に対しては、受容性と信頼性は同程度で、かつ好奇心は高い評価傾向であることから、人間を模擬したキャラクタは瞳孔の大きさを通常の1.5倍程度に拡大することで、親しみやすさだけでなく、積極的な興味等のポジティブな情動表現が可能になると考えられる．

また、顔の輪郭や眉毛等の顔に依存する情報が無い瞳孔反応インタフェースに対する瞳孔の印象評価では、図5におけるモードD（1.0倍）を基準とした場合、縮小提示したモードC（0.8倍）に対しては全ての因子において評価が低く、やや拡大したモードE（1.2倍）に対しては全ての因子において高い評価、誇張させたモードG（2.0倍）は、受容性は低下するものの、信頼性と好奇心は高い評価となった．とくに、図4のモードD（1.0倍）とモードE（1.2倍）は全ての因子において同程度の評価であったのに対して、図5における同モード間を比較すると、全ての因子において顕著な差を確認できる．これは、人間を模擬したCGキャラクタの印象は、瞳孔を含めた目や他の構成要素を統合して形成されるため、微細な瞳孔の面積変化に対しては同様の知覚処理が行われていたものと考えられる．それに対して、顔に依存する情報が無い瞳孔反応インタフェースの印象は、眼球だけの注目しやすい外観であったことから、微小な瞳孔面積の変化であっても知覚しやすく、異なる知覚処理が行われていたものと考えられる．一方で、モードA、B、CやモードG、H等の虹彩に対して瞳孔面積が極端に変化した場合、表現メディアにかかわらず同様の評価傾向であった．これらのことから、瞳孔の大きさが与える印象は、刺激の構成要素だけでなく、虹彩を含めた眼球自身に対する比率にも依存する可能性を示している．したがって、瞳孔を含めた表現メディアをデザインする際には、目の大きさを考慮した瞳孔面積を設計することが望ましいと考えられる．

本実験では「受容性」「信頼性」「好奇心」の3因子が抽出されたが、これら全ての因子を統合した全体の印象として捉えた場合においてもピークが存在すると考えられる．これは、表現メディアにかかわらず「上品一下品」の項目が「受容性」と「好奇心」に寄与していることから、瞳孔面積の増加に伴って「受容性」に包含される「上品」という印象が形成される一方で、ある領域を境にして「下品」という好奇心の印象に変化する、いわゆる“不気味の谷（Mori, 2012）”のような印象形成の変化点が存在する可能性が考えられる．したがって、本実験をさらに拡張させ、瞳孔面積が虹彩を超える3.0倍や4.0倍とした場合においては、好奇心はある一定領域に収束するものの、受容性が大きく低下するのではないかと予想される．また、動物型のような人型とは異なるキャラクタ性

を有する場合、瞳孔面積の好ましさは人型とは異なる可能性が示されており(Sejima et al., 2021), 瞳孔表現メディアにおける各因子の適応領域について調査する必要がある。

5. 結 言

本研究では、これまで開発してきた瞳孔反応 CG キャラクタおよび瞳孔反応インタフェースを用いて、瞳孔面積の相違が与える印象について評価実験を行った。実験の結果、瞳孔表現を行うメディアにかかわらず、瞳孔の大きさ自体が“受容性”、“信頼性”および“好奇心”の印象を与え、“受容性”や“信頼性”においては拡大表現における一定のピークが存在し、好奇心は瞳孔面積の増大に比例することが示された。

今後は、様々な眼球サイズにおける瞳孔変化の知覚可能な閾値や、外観の構形要素を変化させた印象だけでなく、瞳孔に関する事前知識や瞳孔の動的反応が人間の印象形成にどのような影響を与えるのかを幅広い年齢層を対象に各種条件下で明らかにしていく予定である。

謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 19K12890 の助成を受けたものである。

文 献

- Amemiya, S. and Ohtomo, K., Effect of the observed pupil size on the amygdala of the beholders, SCAN, Vol. 7, No.3 (2012), pp.332-341.
- Argyle, M. and Dean, J., Eye-Contact, Distance and affiliation, Sociometry, Vol. 28 (1965), pp.289-304.
- Bekerman, I., Gottlieb, P. and Vaiman, M., Variations in eyeball diameters of the healthy adults, Journal of Ophthalmology (2014), Article ID 503645, pp. 1-5.
- Demons, K. E., Kelley W. M., Ryan S. L., Davis F. C. and Whalen P. J., Human amygdala sensitivity to the pupil size of others, Cereb Cortex, Vol.18, No.12 (2008), pp.2729-2734.
- Harrison, N. A., Singer, T., Rotshtein, P., Dolan R. J. and Critchley, H.D., Pupillary contagion: central mechanisms engaged in sadness processing, Social Cognitive and Affective Neuroscience, Vol. 1, No. 1 (2006), pp.5-17.
- Harrison, N.A., Wilson, C. E. and Critchley, H., Processing of observed pupil size modulates perception of sadness and predicts empathy, Emotion, Vol. 7, No. 4 (2007), pp.724-729.
- Hess, E. H., Attitude and pupil size, Scientific American, Vol. 212, No. 4 (1965), pp.46-54.
- Hess, E. H., The role of pupil size in communication, Scientific American, Vol. 233, No.5 (1975), pp.110-119.
- 広田雅和, 川守田拓志, 魚里博, Visual Display Terminal 作業前後における瞬目および瞳孔径の動的変化, 視覚の科学, Vol. 35, No. 1 (2014), pp. 8-12.
- 石川良平, 金子寛彦, 瞳孔径の動的変動に基づく感情の推定, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 114, No.226 (2014), pp.19-22.
- 河合修平, 高野博史, 中村清実, 瞳孔径変動による快・不快推定, 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 11, No.3 (2012), pp.421-422.
- 川本宙輝, 瀬島吉裕, 佐藤洋一郎, 渡辺富夫, 瞳孔反応インタフェースにおける瞳孔面積の違いが人の印象に及ぼす影響, ヒューマンインタフェース学会研究会, Vol. 21, No. 7 (2019), pp.9-14.
- Kendon, A., Some functions of gaze-direction in social interaction, Acta Psychologica, Vol. 26 (1967), pp.22-63.
- 前田涼介, 長谷川大地, 瀬島吉裕, 佐藤洋一郎, 渡辺富夫, 聞き手の頭部動作に同調する瞳孔反応生成キャラクターの開発, 日本機械学会第 28 回設計工学・システム部門講演会, No.2504 (2018), pp.1-5.
- 米谷淳, 瞳と魅力, 基礎心理学研究, Vol. 13, No.1 (1994), p.53.
- Mori, M., The Uncanny Valley, IEEE ROBOTICS & AUTOMATION magazine, Vol. 19, No.2 (2012), pp.98-100.
- 野村達也, 三ツ中雅人, 対ロボット印象における年代と性別の影響, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 116, No.185 (2016), pp.97-101.
- 大坂友和, 前田良輔, 坂東敏博, 顔の感情評価における瞳孔径の影響, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 101, No. 693 (2002), pp.41-48.
- 酒井幸弘, 洞井里絵, 宇陀恵子, 内藤尚久, 市川一夫, 玉置明野, イリスコードを用いた近見反応と対光反応に

関する研究 その1 照度変化について, 日本視能訓練士協会誌, Vol. 29 (2001), pp.147-151.

Sejima, Y., Sato, Y., Watanabe, T. and Jindai, M., Speech-driven embodied entrainment character system with pupillary response, Bulletin of the Mechanical Engineering Journal, Vol. 3, No.4 (2016) , DOI: 10.1299/mej.15-00314.

瀬島吉裕, 前田涼介, 長谷川大地, 佐藤洋一郎, 渡辺富夫, 子どもとの親近性向上のための遊びロボットにおける瞳孔反応を用いたインタラクション設計, 日本機械学会 2018 年度年次大会, pp.S1210201.

Sejima, Y., Egawa, S., Sato, Y. and Watanabe, T., A pupil response system using hemispherical displays for enhancing affective conveyance, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.13, No.2 (2019) , DOI:10.1299/jamdsm.2019jamdsm0032.

Sejima, Y., Sato, Y. and Watanabe, T., A body contact-driven pupil response pet-robot for enhancing affinity, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 15, No.5 (2021) , DOI:10.1299/jamdsm.2021jamdsm0061.

高橋英之, 宮崎美智子, 岡田浩之, 大森隆司, 「新奇性」と「親近性」の軸から 子どもとロボットの関係性を捉える, HAI シンポジウム 2011 (2011), I-2B-2, pp.1-6.

竹原卓真, 谷尻豊寿, 顔の魅力に対する黒目の大きさと顔形状の相互作用効果, 日本感性工学会論文誌, Vol. 14, No.4 (2015), pp.491-495.

Tombs, S., and Silverman, I., Pupillometry: A sexual selection approach, Evolution and Human Behavior, Vol. 25, No.4 (2004), pp. 221-228.

吉田久, 八名和夫, 奥山文雄, 所敬, ヒトの目における瞳孔径の呼吸性変動, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. 76, No. 3 (1993), pp. 776-781.

Zhang, T., Ali, E.A., Wang, C., Zhu, X. and Cesar, P., CorrFeat: correlation-based feature extraction algorithm using skin conductance and pupil diameter for emotion recognition, Proceeding of 22nd ACM International Conference on Multimodal Interaction (2019), pp.404-408.

References

Amemiya, S. and Ohtomo, K., Effect of the observed pupil size on the amygdala of the beholders, SCAN, Vol. 7, No.3 (2012), pp.332-341.

Argyle, M. and Dean, J., Eye-Contact, Distance and affiliation, Sociometry, Vol. 28 (1965), pp.289-304.

Bekerman, I., Gottlieb, P. and Vaiman, M., Variations in eyeball diameters of the healthy adults, Journal of Ophthalmology (2014), Article ID 503645, pp. 1-5.

Demons, K. E., Kelley W. M., Ryan S. L., Davis F. C. and Whalen P. J., Human amygdala sensitivity to the pupil size of others, Cereb Cortex, Vol.18, No.12 (2008), pp.2729-2734.

Harrison, N. A., Singer, T., Rotshtein, P., Dolan, R. J. and Critchley, H.D., Pupillary contagion: central mechanisms engaged in sadness processing, Social Cognitive and Affective Neuroscience, Vol. 1, No. 1 (2006), pp.5-17.

Harrison, N.A., Wilson, C. E. and Critchley, H., Processing of observed pupil size modulates perception of sadness and predicts empathy, Emotion, Vol. 7, No. 4 (2007), pp.724-729.

Hess, E. H., Attitude and pupil size, Scientific American, Vol. 212, No. 4 (1965), pp.46-54.

Hess, E. H., The role of pupil size in communication, Scientific American, Vol. 233, No.5 (1975), pp.110-119.

Hirota, M., Kawamorita, T. and Uozato, H., Dynamic changes in pupil diameter and blink rate before and after visual display terminal task, Japanese journal of visual science, Vol. 35, No. 1 (2014), pp. 8-12 (in Japanese).

Ishikawa, R. and Kaneko, H., Estimation of emotional state based on the dynamic changes of pupil size, IEICE Technical Report, Vol. 114, No.226 (2014), pp.19-22 (in Japanese).

Kawai, S., Takano, H. and Nakamura, K., Emotional estimation by pupil diameter variation, Proceedings of Forum on Information Technology 2012, Vol. 11, No.3 (2012), pp.421-422 (in Japanese).

Kawamoto, H., Sejima, Y., Sato, Y. and Watanabe, T., Effects of difference in pupillary area on impressions in the pupil response interface, correspondences on human interface, Vol. 21, No. 7 (2019), pp.9-14 (in Japanese).

Kendon, A., Some functions of gaze-direction in social interaction, Acta Psychologica, Vol. 26 (1967), pp.22-63.

Maeda, R., Hasegawa, D., Sejima, Y., Sato, Y. and Watanabe, T., Development of a Pupil Response Generating Character Synchronized with Listener's Head Movement, The 28th Design & Systems Conference, No.2504 (2018), pp.1-5 (in Japanese).

Maiya, K., Eyes and attractiveness, The Japanese Psychonomic Society, Vol. 13, No.1 (1994), p.53 (in Japanese).

- Mori, M., The Uncanny Valley, IEEE ROBOTICS & AUTOMATION magazine, Vol. 19, No.2 (2012), pp.98-100.
- Nomura, T. and Mitsunaka, M., Influences of generation and gender into impressions of robots, IEICE Technical Report, Vol. 116, No.185 (2016), pp.97-101 (in Japanese).
- Oosaka, T., Maeda, R. and Bando, T., Influence of the pupil size on the estimation of emotion from the face, IEICE Technical Report, Vol. 101, No. 693 (2002), pp.41-48 (in Japanese).
- Sakai, Y., Hirai, R., Uda, K., Naito, N., Ichikawa, K. and Tamaoki, A., The study of near and light reflex with IRISCORDER 1. the change of illuminance, Japanese Orthoptic Journal, Vol. 29 (2001), pp.147-151 (in Japanese).
- Sejima, Y., Sato, Y., Watanabe, T. and Jindai, M., Speech-driven embodied entrainment character system with pupillary response, Bulletin of the Mechanical Engineering Journal, Vol. 3, No.4 (2016) , DOI: 10.1299/mej.15-00314.
- Sejima, Y., Maeda, R., Hasegawa, D., Sato, Y. and Watanabe, T., Interaction design of affinity improvement using pupil response in a playing robot for children, Mechanical Engineering Congress, Japan, (2018), pp. S1210201.
- Sejima, Y., Egawa, S., Sato, Y. and Watanabe, T., A pupil response system using hemispherical displays for enhancing affective conveyance, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.13, No.2 (2019), DOI:10.1299/jamdsm.2019jamdsm0032.
- Sejima, Y., Sato, Y. and Watanabe, T., A body contact-driven pupil response pet-robot for enhancing affinity, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 15, No.5 (2021) , DOI: 10.1299/jamdsm.2021jamdsm0061.
- Takahashi, H., Miyazaki, M., Okada, H., and Omori K., The description of human-robot relationship from the viewpoint of “familiarity” and “novelty”, Human-Agent Interaction Symposium 2011 (2011), I-2B-2, pp.1-6 (in Japanese).
- Takehara, T. and Tanijiri, T., Interaction effect between the size of iris and the shape of eyelid for facial attractiveness, Journal of Japan Society of Kansei Engineering, Vol. 14, No.4 (2015), pp.491-495 (in Japanese).
- Tombs, S., and Silverman, I., Pupillometry: A sexual selection approach, Evolution and Human Behavior, Vol. 25, No.4 (2004), pp. 221-228.
- Yoshida, H., Yana, K., Okuyama, F. and Tokoro, T., Respiratory fluctuations in pupil diameter of the human eye, The transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, D-II, Vol. 76, No. 3 (1993), pp. 776-781 (in Japanese).
- Zhang, T., Ali, E.A., Wang, C., Zhu, X. and Cesar, P., CorrFeat: correlation-based feature extraction algorithm using skin conductance and pupil diameter for emotion recognition, Proceeding of 22nd ACM International Conference on Multimodal Interaction (2019), pp.404-408.