

# ヒューマンインフォメーションの研究動向

永井岳大<sup>†1</sup>, 原澤賢充<sup>†2</sup>, 小濱 剛<sup>†3</sup>, 荻谷光晴<sup>†4</sup>, 森川大輔<sup>†5</sup>

## 1. まえがき

ヒューマンインフォメーション(HI)研究会は、映像情報メディアにおける人間の視聴覚特性を明らかにすることを目的に活動を続けている。一方、本学会の他研究会でも人間の視聴覚特性をそれぞれ調べる研究は多く、本学会での人間の視聴覚特性に関する発表の場はHI研究会だけにはとどまらない。そのような状況において、本研究会の特徴は、人間を中心に据え、視聴覚の基礎的特性から実際のデバイスに対する知覚認知特性、深層学習と人間の差異に至るまで、広範なトピックスを取り扱っているところにある。実際、研究会の発表内容はかなり幅広く、多様なバックグラウンドを持つ研究者が参画している。

本稿では、ヒューマンインフォメーションに関連して、①眼球運動と視覚認知、②視聴覚デバイス評価、③視覚心理学、④視覚と聴覚の相互作用、の4章に分けて最近の動向を概観する。(永井)

## 2. 眼球運動と視覚認知

近年、機械学習や深層学習の進展に伴って、人工知能研究が驚異的な進歩を遂げており、視覚認知の研究分野においても大きなインパクトをもたらしている。特に、画像理解、物体検出、セグメンテーションなどの映像情報処理技術への寄与が著しく、自動運転や医療画像解析をはじめとする多彩な活用が進められている。主として用いられている畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural

Network: CNN)は、Fukushima<sup>1)</sup>により提案されたNeocognitronを発展させたモデルとして捉えることができる。Neocognitronは、畳み込み層、プーリング層、全結合層から構成される階層的ネットワークであり、大脳皮質における視覚情報処理過程の特徴を模倣したものである。CNNは、Neocognitronを深層化して、より複雑な特徴の抽出を可能としたものであり、CNNが内包する視覚情報の表象が、ヒトの視覚情報処理メカニズムを理解する手がかりとなることも期待されている。

眼球運動研究においても、機械学習や深層学習技術を用いて、ヒトの眼球運動の軌跡(scanpath)を再現する試みがなされている<sup>2)~5)</sup>。Scanpathの生成過程を明らかにすることは、視覚的注意の時空間特性を理解する上で重要であるといえる。最近、報告されたKümmererら<sup>6)</sup>によるモデルは、深層学習により、画像情報と視線の履歴を学習し、視線の移動先を予測する。モジュール式の構造が採用されており、spatial priority network, scanpath network, fixation selection networkから構成される。入力されたシーンの特徴とscanpathの関係などから、いわゆる構成論的アプローチにより、視線の移動に影響を及ぼす要因を把握することが可能なモデルである。

2022年度のヒューマンインフォメーション研究会においても、深層学習を用いた視線予測モデルに関する研究成果が報告されている。大澤らは<sup>7)</sup>、構成論的立場から、ヒトの視線移動の再現が可能な神経回路モデルの構築を目的として、LSTMに代表される時系列学習モデルに基いた深層学習ニューラルネットワークモデルを構築し、自然画像の自由観察中に生じるscanpathの予測を行った。大澤らのモデルは、畳み込み型ニューラルネットワークおよび自己回帰型ニューラルネットワークを複合した深層学習ニューラルネットワークモデルであり、エンコーダ部には学習済みのCNNモデルを用い、視細胞の密度の分布に伴う解像度の変化や、シーン内のオブジェクトを抽出する機構を備えている点が特徴的なモデルである。画像統計量と視線遷移の時間特性とを紐付けることで、実測された眼球運動データから視線移動の方法やその経時的変化といった特性を上手く抽出できることが示されており、視線移動に関する神

<sup>†1</sup> 東京工業大学 大学院総合理工学研究科

<sup>†2</sup> NHK 放送技術研究所

<sup>†3</sup> 近畿大学 生物理工学部

<sup>†4</sup> 神奈川大学 工学部 経営工学科

<sup>†5</sup> 富山県立大学 工学部 知能ロボット工学科

"Human Information" by Takehiro Nagai (Department of Information and Communications Engineering, School of Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo), Masamitsu Harasawa (Science and Technology Research Laboratories, NHK, Tokyo), Takeshi Kohama (Faculty of Biology-Oriented Science and Technology, Kindai University, Wakayama), Mitsuharu Ogiya (Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering, Kanagawa University, Atsugi), and Daisuke Morikawa (Department of Intelligent Robotics, Faculty of Engineering, Toyama Prefectural University, Toyama)

経系における仕組みに対する一つの説明を与えるものであるといえる。

一方、眼球運動のミクロスコピックな(微小な事象を対象とする)研究においても、新たな知見が報告されている。眼球運動は注視とサッカードと呼ばれる速い眼球運動に大別されるが、注視中に不随意に生じる微小な眼球運動を固視微動という。固視微動の中でも、振幅1度以下、持続時間25 ms以下の微小なジャンプ運動をマイクロサッカードと呼び、視覚的注意のような高次脳機能や覚醒水準を反映したバイオマーカーとしての活用が期待されている。

マイクロサッカードの方向は、視覚的注意の方向と一致することが知られており、視覚皮質上の情報処理とマイクロサッカード生成過程との強い関係性が示唆される。Liuらの報告<sup>8)</sup>によれば、注視を維持した状態で、アイコンックメモリー(目などの感覚受容器において、視覚情報を映像として保持するメモリー)上に記憶されたターゲットの方位を報告するタスクにおいて、注意を向けた方向とマイクロサッカードの方向がよく一致することが示されている。このとき、後頭葉に $\alpha$ 波帯域のパワーが増強されることから、マイクロサッカードが皮質上の情報処理を反映している可能性が示されている。ただし、 $\alpha$ 波の増強には、マイクロサッカードの発生が伴わない場合もあったことから、マイクロサッカードが視覚的注意による神経応答の変調を引き起こす前提条件ではないことが示された。

また、マイクロサッカードの発生に伴って生じる後頭葉における $\alpha$ 波帯域でのパワーの増強は、マイクロサッカードの方向と同側の半球において生じており、その応答はマイクロサッカードの開始時においてより明瞭であったことから、 $\alpha$ 波の増強によって同側のマイクロサッカードが誘発されることが示唆されている<sup>9)</sup>。このことから、視覚的注意やワーキングメモリーなどの高次脳機能、および、 $\alpha$ 波の変調をもたらす空間認知に関与する神経機構が、マイクロサッカードの制御にも関係することが明らかとなった。Yuら<sup>10)</sup>により、注意の方向に向かって生じるマイクロサッカードが、上丘の発火率に変化をもたらすことが示されている。上丘における注意に関連する変調は、マイクロサッカードの発生以前に、手がかり刺激の提示によって発生していた。また、マイクロサッカードの方向と手がかり刺激の方向との間には明確な関係性が認められることから、上丘における注意の効果は、マイクロサッカードの有無とは無関係に生じることも示された。また、Wangら<sup>11)</sup>は、色コントラストによってpop-out(視対象が周辺から突出して目立つ現象)するドットパターンによって受動的に注意が誘導された場合は、注意の方向がマイクロサッカードの方向に影響を及ぼさないことを示した。このように、注意の方向とマイクロサッカードの方向の関係については、完全な解明には至っておらず、実験条件に工夫を凝らしても、両者に明瞭な関係が見いだせないことも報告されている<sup>12)</sup>。

2022年度のヒューマンインフォメーション研究会においても、マイクロサッカードに関する研究成果が報告されている。鈴木ら<sup>13)</sup>によると、自然画像を観察する際に生じるマイクロサッカードは、興味を持った対象の方向に向かって生じる頻度が高くなることが示唆されている。マイクロサッカードは、その水平成分と垂直成分が非同期的に発生しており、複雑な軌道を描くことから、マイクロサッカード方向と注意方向の関係を精度よく分析するには、マイクロサッカードの開始点と終了点をできるだけ正確に特定する必要がある。小畑ら<sup>14)</sup>は、固視微動の2次元速度成分から瞬時エネルギー分布を求め、その統計的性質に基づいてマイクロサッカードを特定するアルゴリズムを提案した。そこで検出されたマイクロサッカードが、主系列と呼ばれる随意的サッカードと共通の動的特性を満たしたことから、その妥当性が示されている。(小濱)

### 3. 視聴覚情報提示装置の評価

視聴覚情報提示装置の発展はとどまることなく続いている。それらに関する知覚的・官能的評価は技術の有効性を検証するためには欠かすことができない。本章では、視聴覚情報提示装置に関連する研究を紹介する。

#### 3.1 高速ディスプレイの質感

e-sportsと呼ばれるコンピュータゲームには高速なフレームレートを実現したディスプレイが使われることが多い。またスマートフォン画面のフレームレートも高速化している。これらのデバイスの性能を語るとき「ぬるぬる動く」などのオノマトペが使われることがあり、従来のフレームレートでの表示とは異なる質感が知覚されるとする言説も多くみられる。中嶋ら<sup>15)16)</sup>はフレームレート1,000 Hzで表示可能なプロジェクタを用いて高フレームレートで表示された運動刺激の質感について調べ、観察者が感じたオノマトペと刺激の時間的特性の間に一定の法則性があることを見つけた。

#### 3.2 HMDでの知覚・HMDの仕様

ヘッドマウントディスプレイ(HMD: Head-Mounted Display)は没入型映像を視聴するのに欠かせない装置となりつつあり、現在も技術的な発展が続いている。しかし、従来の据え置き型ディスプレイとは表示方法が大きく異なるため、知覚にも違いが見られる。Itaguchi<sup>17)</sup>は、HMDに提示された手や日常の物体が、記憶しているサイズより大きいかどうかを判定させ、仮想の手と物体のいずれでも5%程度の過小評価が生じていることを示した。一方、米本ら<sup>18)</sup>は実世界で表示した高輝度の刺激を長時間観察することで残像を生じさせ、これとHMD内で表示した刺激の大きさを合わせる実験を実施し、HMDの光学系は大きさ知覚に影響しないことを示した。これと関連して、HMDでは距離は一般的に過小評価されがちであることは20年以上にわたり繰り返し報告されてきた。Combeら<sup>19)</sup>は、HMD

出現以前によく用いられてきた没入型映像表示装置であるCAVEとHMDで距離知覚の比較を行った。ある場所から別の場所へ1m未満の距離で物体を移動させる課題を行ったところ、過去の知見と同様に、現実と比較してCAVEとHMDでは著しい距離の過小評価が見られたが、両デバイス間の有意差は見られなかった。Kelly<sup>20)</sup>は、131の研究を統計的に解析するメタアナリシスによって20種類のHMDにおける使用者の自己中心的 (=egocentric) 距離知覚について検討し、知覚された距離とHMDの技術的特性との関係を検証した。その結果、HMDの視野の広さ(FOV)と正の相関、HMDの解像度と正の相関、HMDの重量と負の相関が見られ、FOVと解像度の効果は重いHMDほど顕著であった。また、実世界もしくは従来型表示装置とHMDとの間の知覚的な差異はあるものの、実世界の代替物としての利用可能性を模索する試みが続けられており、例えば、澤田ら<sup>21)</sup>は実世界とHMDで運転行動の差異を検証し、危険な場面への確認行動においてHMDが実世界を代替可能である可能性を示している。

また、HMDによる実験にあたっては、通常の室内実験よりも複雑でダイナミックな刺激提示が可能のため、研究の生態学的妥当性を高めることができる。しかし、HMDを用いた研究が増加する一方で、心理実験や主観的評価実験の標準的な手法の多くがVR環境に最適化されていないため、より安定したVR環境を構築するための技術的ポイント(例えば、現在のHMDは従来の実験室環境と比較してミリ秒単位の刺激提示の精度を有しているか)などはほとんど知られていない。立花ら<sup>22)</sup>は、市販のHMDにおける視覚・聴覚刺激提示の時間長やタイミングの正確さや精度を明らかにした研究成果を紹介しながら、より信頼性の高いVR研究のセットアップのための重要な特徴を示した。

では、どのような技術的特徴を持っていれば理想的なHMDであると言えるだろうか。Harasawaら<sup>23)</sup>は、理想的なHMDとは使用者が装着していることに気づかないような体験を提供できるものと定義し、それを満たすための性能について検討した。彼らは、HMDは頭部に装着した状態で使用者が自由に眼球を動かせるものであることからHMDの持つべきFOVは頭部中心座標系で記述されるべきであるとし、頭部を固定し自由に眼球運動できる状態で、正面からどれだけ離れた位置の光点を検出できるかを測定し、垂直視野角は約150°、水平視野角は単眼で約200°、両眼で約260°が必要となることを示した。これらの値は、網膜中心座標系でこれまで計測されてきた視野の大きさと眼球可動範囲を合計したものより狭く、顔の解剖学的構造によるケラレの影響が示唆された。また、人間の視覚系において視細胞の密度は中心窩で高く、そこから離れるほど低いことが知られており、これらの範囲は必ずしも全域にわたって中心ほど高密度に画素が配置される必要はないと考えられる。原澤ら<sup>24)</sup>は、頭部中心座標系で視野偏心度と空

間周波数特性の関係を記述することを試み、水平約100°、垂直約100°の範囲の外側では8cpdより高い空間周波数成分に対する感度が見られず、HMDにおける画素配置の指針に資するものとした。一方、松永ら<sup>25)</sup>は周辺視野領域であっても提示する刺激の大きさを調整することで課題によっては中心窩と機能的には同等の性能を果たしうること示し、周辺視野の利用可能性につながる知見を提示した。

### 3.3 オンライン実験

コロナ禍のもとでは参加者を実験室に呼んで実施する実験が制限される場面が多くみられ、そのため世界中でオンラインによる遠隔実験のためのツール開発やノウハウの蓄積がなされていった。MPEG (Motion Pictures Experts Group) は、オーディオとビデオの圧縮と伝送のための規格群であり、国際標準化機構 (ISO) と国際電気標準会議 (IEC) の作業グループとして設立・維持されている。そこで扱われているさまざまな方式・規格の議論にあたっては主観評価実験を欠かすことはできない。MPEGを構成するグループのひとつであり、主観評価実験の策定や実施、分析などの活動を担当しているAG5は、主観評価実験の一部を遠隔で行うときのガイドラインを「Guidelines for remote experts viewing sessions」として策定した<sup>26)</sup>。このようにオンライン実験は多くの場面でふつうのものとして実施されるようになってきた。しかし、どうしても装置の制約のある研究にオンライン実験を利用するのは依然として困難である。例えば、装置の特性を測ることが目的となる研究(例えば、麻生ら<sup>27)</sup>によるOLEDとLCDの比較)、視聴覚以外のモダリティを提示する装置(例えば、西澤ら<sup>28)</sup>による風の提示効果の測定)、実世界であることに価値がある研究(例えば、管ら<sup>29)</sup>による実車環境での車内ミラーの方式比較)などがこれにあたる。乳幼児や児童を対象とした研究も、これまでは、そのひとつとして考えられてきた。しかしShiraiら<sup>30)</sup>は乳児を対象とした視覚実験において、オンライン実験の結果が実験室実験と差異がないことを示し、手法の工夫によってはさらにオンライン実験の適用場面を広げられることを示した。(原澤)

## 4. 視覚心理学

最近、科学技術の発展により、さまざまな分野において機械学習を用いた研究や開発が進んできている。自然言語の分野では、インターネット上のデータを用いた学習により、ヒトとの会話に近い双方向性の技術が一般公開されている。また、画像の分野においても、機械学習によるモデルを用いることで、画像の自動生成を行う技術の開発も進んでいる。近年の機械学習の急速な進展は、応用技術の重要性を示すものではある。しかし、技術を使うのはヒトであることから、技術の発展は、ヒトの知覚メカニズムやシステムを理解した上で、寄り添って発展することが期待される。この意味では、ヒトの心理物理学観点での研究の重

要性は、より増しているといえる。

#### 4.1 心理的な時間の知覚

ヒトが心理的に知覚する時間は、実時間(物理的な時間)と必ずしも一致しない。心理的な知覚時間は、ヒトの感情の影響を受け、特に恐怖や不安、喜びを感じているときに、影響が大きいと報告されている<sup>31) 32)</sup>。この心理的な知覚時間は、100 msから5 s以下の範囲では時間知覚に分類され、それより長ければ時間評価に分類される。

北島ら<sup>33)</sup>は、恐怖感情が発生している場合の、心理的時間変化について検討した。特に、時間知覚の範囲での影響が強いことから、比較として時間知覚と時間評価の両条件において検討した。実験では、VRを用いて、高所にある狭い足場を仮想的に構築し、強い恐怖を感じるように設定した。参加者は、高所から周囲を見渡し、下をのぞき込むことで、充分強い恐怖を感じた後に、高所からの落下を体験した。この落下中の心理的時間の長さを測定したところ、コントロール条件である平常時の心理的時間と比べて、平均して約33%程度長く感じることを報告した。

Mullenら<sup>34)</sup>は、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いたVR空間での迷路ゲームにおいて、体験者が心理的に知覚する時間について、実時間より短く感じられる時間圧縮が生じたことを報告している。佐久間ら<sup>35)</sup>は、この結果から、HMD装着時の没入感が、視聴している映像の速度知覚にも間接的に影響を与えるのではないかと仮説を立て検討を行っている。実験では、事前に撮影した全天球映像を用いた。提示される映像の条件は、人通りの多い、中程度、少ない映像とし、音なしの映像とした。参加者は、実際の映像速度よりも、速い、または遅い速度で提示された映像を観察し、実際の速度を推定して再生速度を調整した。これらの結果から、さらなる検証は必要であるが、仮説を支持する可能性を報告している。

#### 4.2 質感知覚と感性印象

ヒトは、物体の表面の視覚情報により、その物体の素材や質感を判断することが可能である。質感知覚については、ヒトの感性への因果関係をもつ影響があることを示唆する研究報告<sup>36) 37)</sup>があるが、実際に感性生起にかかわるのか解明にはまだ至っていない。永井ら<sup>38)</sup>は、質感知覚と感性印象について、視覚的心理物理学的な応答時間を含めて検討することで、質感から感性への階層構造をもつかどうか検討した。実験では、形状や材質が異なる物体の画像を多数用意し、サーストンの一対比較法を用いて行った。参加者は、二つ同時に提示される物体画像に対して、質感6種類と感性5種類の評価を行った。実験結果から、視覚的質感の評価と感性印象に関する評価の応答時間には差が見られないことを報告した。また、重回帰分析の応答時間を考慮した結果も踏まえると、単純な質感知覚の情報に基づいた感性生起があるという階層構造があるというモデルよりも、一部の質感や感性に因果関係があることを示唆した。

#### 4.3 VR空間上での印象・コミュニケーション

上述のオンライン心理実験のように、インターネットを介したオンラインコミュニケーション技術の普及が急速に進んできている。特に、インターネット上では、自分自身の姿ではなく、仮想空間上でのキャラクタ(アバター)を用いたコミュニケーションを行うことも多くなってきている。アバターの外見は、操作している人物(ユーザ)に対して、行動や認知に影響を与えることが知られている<sup>39) 40)</sup>。

大久保ら<sup>41)</sup>は、VR上のアバターの変化による自己認知の変化が、知覚に影響を与えるかどうかを検討した。実験では、アバターの印象を変化させながら、ダンベルの重さを評価させた。その結果、アバターの見た目の印象の強さに反比例して、ダンベルは物理的重さに対して相対的に軽く知覚する傾向があることを示した。このことから、アバターの印象が認知だけでなく、知覚にも影響を与えることを示唆した。

井上ら<sup>42)</sup>は、仮想空間内においてサービスやコンテンツを生産者から消費者へ提供する場として知られるメタバース環境における営業場面について、営業者側の観点から対面、ZoomやTeamsでのWeb会議、メタバース上でのアバターを用いた場合の印象比較を行った。その結果、対面では情報の伝達はしやすく内容についての信用性が高い反面、ストレスも高いことを示唆した。またメタバース上のアバターでは、情報の伝達がしにくく内容についての信用性が低い、ストレスも低いことを示唆した。

#### 4.4 自動車・自動二輪車の安全運転

現在、さまざまな運転支援技術が開発されてきているが、交通事故発生件数は依然として高い水準にある。交通事故の発生を抑制するためには、運転支援システムや運転者の危険な行動を分析した上での注意喚起が必要である。

板坂ら<sup>43)</sup>は、自動二輪車のナビゲーションシステムについて、熟練者と初心者の確認動作の比較を行った。実験では、実際の道路上でのナビゲーションの確認動作を測定した。初心者と熟練者の比較結果から、走行中や信号待ちなどの停車中におけるナビ確認の回数は、初心者の方が倍程度多く、注視時間も長いことを報告している。また、走行時の注視時間に注目すると、熟練者は3 s以下での確認であったのに対して、初心者は5 s以上の注視があることを報告している。これらのことから、初心者のナビゲーション確認行動には、走行中における長い注視確認が生じていることから、事故につながる危険な確認動作を含むことを示唆した。

澤田ら<sup>21)</sup>は、ドライバーの安全確認を評価するハザード知覚テストについて、視線計測式HMDを用いた全方位映像によるテストを提案し、提案テストが実際の運転時の安全確認行動と相関があるかどうか検討した。従来のハザード知覚テストでは、平面による映像提示のため、右左折時の巻き込み確認に伴う、頭部の回転運動を測定することがで

きなかった。しかし、提案手法では、全方位映像を用いているため、巻き込み確認動作を測定することを可能とした。また提案手法によるテストの結果と、実運転環境下での安全確認動作の結果に、正の相関がみられたことから、HMDを用いた全方位映像によるハザード知覚テストの有用性を示した。

(荻谷)

## 5. 視覚と聴覚の相互作用

視覚と聴覚が互いに影響を与えていることは古くから知られている。特に口の動きと音声に矛盾がある場合に、知覚される音韻が変化するマガーク効果や、視覚的な音源位置と実際の音源位置が異なる場合に、視覚的な音源位置から音が鳴っているように知覚される腹話術効果などがある有名である<sup>44)</sup>。近年のマスク着用が推奨される環境の変化によって、若年層はマスクを外してもマガーク効果が生じにくくなったことが報告される<sup>45)</sup>など、視覚と聴覚の相互作用はそれらの感覚間によるものだけでなく、経験などからも影響を受ける非常に複雑なものである。しかし、単一の感覚のみの知覚についても未だ未解明の点は多く、ある一つの感覚についての研究が多く行われている。一方で、われわれは一つの感覚だけを用いて活動していることは少なく、常に複数の感覚を駆使している。したがって、今後のヒトの知覚に基づいた技術の発展には視聴覚の相互作用など、マルチモーダル・クロスモーダルの研究も重要である。このような状況から、ヒューマンインフォメーション研究会では、視聴覚を含めた複数感覚の相互作用に関する研究の活性化や、異なる感覚の研究者の交流を図るために、他学会の研究会との共催研究会を進めている。本章では、視聴覚の相互作用に関する最近の研究動向の中で、ヒューマンインフォメーション研究会や、共催研究会とその母体学会等で報告が多く見られた、空間的な音の知覚（音像の定位）に視覚が与える影響に関する研究、音の印象に視覚が与える影響に関する研究、視覚と聴覚を同時に提示するシステムに関する研究について述べる。

### 5.1 音像の知覚に関する研究

腹話術効果も含め、空間的な音の知覚に視覚が与える影響については多くの報告があった。河合らは、HMD利用時の周辺視野によって生じる腹話術効果について調査し、HMDで視覚刺激を提示する場合と、従来の映像を提示する場合で、周辺視野における腹話術効果の影響度合いが異なること<sup>46)</sup>、視覚刺激の背景によって腹話術効果の影響に強弱があり、現実の3Dスキャンのような複雑な背景と比較すると、空と地面のモデルから作成した単純な背景の方が腹話術効果の影響が弱まること<sup>47)</sup>などを報告している。

山高ら<sup>48)</sup>は、視野の広い範囲に一定方向の運動パターンを提示することによって引き起こされる自己運動感覚が音像の知覚位置に及ぼす影響について、刺激音の持続時間や刺激音の属性による変化を調査した。その結果、刺激音の

持続時間が長くなるほどに定位精度が向上すること、刺激音の属性の変化によって定位の傾向が異なる可能性があることを明らかにした。

酒井ら<sup>49)</sup>は音の到来方向の情報による音像の分離と統合に対して、視覚刺激が与える影響についての検討を行い、視覚刺激としてオブジェクトが二つ存在し分離していることが示されると、音像が分離して知覚されやすくなることを明らかにした。この現象は腹話術効果に近い影響も受け、分離した音像が提示される位置と視覚刺激が提示される位置が異なっている場合でも生じた。

### 5.2 音の印象に関する研究

視覚情報による音の印象の変化について、多様な条件で報告があった。北條ら<sup>50)</sup>は、視覚情報と聴覚情報を同時に提示した際の快不快の印象について調査し、両方の刺激の調和が取れているかどうかを快適さの評価に影響を与えること、映像による快よりも音による不快の影響が大きいことを明らかにした。山崎ら<sup>51)</sup>は、音環境の快不快に視覚情報が与える影響を調査し、映像による影響は快適な音に対する場合の方が大きいという結果を得ており、この傾向は北條らと一致している。

米村ら<sup>52)</sup>は、風車騒音のうるささの知覚に風車の動画が与える影響について調査し、視覚情報の提示によって、大きさ・うるささが低減することを明らかにしている。

また、増田ら<sup>53)</sup>は自動車内におけるサインに最適な視聴覚刺激を検討するために、安心だと感じる刺激から危険だと感じる刺激までを、聴覚刺激と視覚刺激の両方で用意し、それらを組み合わせて評価実験を行った。その結果、聴覚刺激と視覚刺激のいずれかが危険であることを示す場合、他方の刺激が単体では安全を示す場合でも危険と判断されることを報告している。

風岡ら<sup>54)</sup>は、HMDを用いて提示された仮想空間で、被験者の発声した音の残響時間を変化させることで、仮想空間と調和する残響時間について調査し、視覚情報が被験者の予想する残響時間に影響を与えることを明らかにしている。さらに、仮想空間の壁に質感を付与したり、空間内に物体を配置したりすることで、空間のスケール感を把握しやすくなり、被験者の予想する残響時間が、仮想空間から想定される残響時間に近づくこともわかっている。

### 5.3 視聴覚刺激の提示システムに関する研究

視聴覚刺激を用いた提示システムの開発に関する研究も数多く行われている。堀内ら<sup>55)</sup>は、360°動画をスマートデバイスによって視聴者インタラクティブに操作し、指定した任意の角度範囲の立体音を合成する手法を提案している。また、渡壁ら<sup>56)</sup>はそもそも映像の付加が、立体音再生システムの聴覚印象に影響するのかを調査し、映像を付加した方が好まれる傾向にあったことを明らかにしている。

視聴覚刺激に加えて他の感覚も用いるシステムの検討も進められており、阿部らは、視聴覚刺激に体の振動を加え

た提示システムをプロジェクタ・ヘッドホンとモーショントラックを用いて構築し、臨場感や迫真性の知覚にコンテンツ内の音から作成した振動が与える影響の調査を行い<sup>57)</sup>、最適な振動の提示レベルを検討している<sup>58)</sup>。伊藤ら<sup>59)</sup>は、視聴覚に風を加えた提示システムをHMDとファンによって構築し、風向きの知覚には視覚刺激と聴覚刺激が影響していることを明らかにするとともに、視聴覚刺激を用いて知覚される風向きのコントロールが可能であることを示している。

以上のように、視覚と聴覚の研究は多種多様であり、未解明の問題が非常に多く残されている。多くの研究者が参入し、問題が解決されていくことを期待する。(森川)

## 6. むすび

映像情報メディアと人間の視聴覚特性は切っても切り離せない深い関係がある。近年では、オンラインコミュニケーションやAR、VR技術など新しい視聴覚デバイスが普及するようになってきているが、残念ながら新規デバイスにおける視聴覚特性の多くは不明なままである。一方で、それらのデバイスや深層学習などを活用することで、逆に人の知覚認知特性の新たな側面も明らかになっていくだろう。ヒューマンインフォメーション研究会では、このような新世代のデバイスに対する人間の視聴覚特性を解明するとともに、それらを最大限活用することにより人間の視聴覚特性の仕組みの真の理解を目指していきたい。(永井)

(2023年6月12日受付)

## 〔文 献〕

- 1) K. Fukushima: "Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position", *Biological Cybernetics*, 36, 4, pp.93-202 (1980)
- 2) M. Cornia, et al.: "Predicting human eye fixations via an LSTM-based saliency attentive model", *IEEE transactions on Image Processing*, 27, 10, pp.5142-5154 (2018)
- 3) L. Schwetlick, et al.: "Modeling the effects of perisaccadic attention on gaze statistics during scene viewing", *Communications Biology*, 3, 1:727 (2020)
- 4) N. Malem-Shinitzki, et al.: "A mathematical model of local and global attention in natural scene viewing", *PLOS Computational Biology*, 16, 12, e1007880 (2020)
- 5) W. Sun, et al.: "Visual scanpath prediction using IOR-ROI recurrent mixture density Network", *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 43, 6, pp.2101-2118 (2021)
- 6) M. Kümmerer, et al.: "DeepGaze III: Modeling free-viewing human scanpaths with deep learning", *Journal of Vision*, 22, 5:7 (2022)
- 7) 大澤ほか: "畳み込み再帰型構造を有する深層学習モデルによる視線移動予測", *映情学技報*, 46, 38, pp.15-18 (2022)
- 8) B. Liu, et al.: "Functional but No.obligatory link between microsaccades and neural modulation by covert spatial attention", *Nature Communications*, 13:3503 (2022)
- 9) B. Liu, et al.: "Microsaccades transiently lateralise EEG alpha activity", *Progress in Neurobiology*, 224:102433 (2023)
- 10) G. Yu, et al.: "Microsaccades as a marker No.a cause for attention-related modulation", *eLife*, 11:e74168 (2022)
- 11) C. Wang, et al.: "Saliency and priority modulation in a pop-out paradigm: Pupil size and microsaccades", *Biological Psychology*, 153, 107901 (2020)
- 12) 竹下ほか: "持続的注意とマイクロサッカド発生方向との関係", *信学技報*, 122, HIP-213, pp.10-13 (2022)
- 13) 鈴木ほか: "自然画像を対象としたマイクロサッカドと興味との関連性に関する検討", *映情学技報*, 46, 7, pp.23-26 (2022)
- 14) 小畑ほか: "瞬時エネルギーに基づいたマイクロサッカド検出手法の提案とその応用", *映情学技報*, 46, 38, pp.11-14 (2022)
- 15) 中嶋ほか: "動きの滑らかさ知覚とDuty比の関係", *映情学技報*, 46, 13, pp.13-16 (2022)
- 16) 中嶋ほか: "映像フレームレートとDuty比が動きの滑らかさ知覚に与える影響", *映情学技報*, 47, 12, pp.33-36 (2023)
- 17) Y. Itaguchi: "Size perception bias and reach-to-grasp kinematics: an exploratory study on the virtual hand with a consumer immersive virtual-reality device", *Front. Virtual Real.* 2:712378 (2021)
- 18) 米本ほか: "VR空間における視対象の網膜像に対する評価サイズがHMD光学系から受ける影響", *映情学技報*, 45, pp.9-12 (2021)
- 19) T. Combe, et al.: "CAVE and HMD: distance perception comparative study", *Virtual Reality* (2023)
- 20) J.W. Kelly: "Distance perception in virtual reality: A meta-analysis of the effect of head-mounted display characteristics", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* (2022)
- 21) 澤田ほか: "視線計測式HMDを用いたハザード知覚テストの開発と実運転行動との関連性検討", *映情学技報*, 47, 7, pp.97-100 (2023)
- 22) 立花ら: "VRによる視聴覚実験-VR HMDにおける刺激呈示の正確性・精度と留意点-", *基礎心理学研究*, 41, 1, pp.69-76 (2022)
- 23) M. Harasawa, et al.: "Perimetry on head-centered coordinate system for requirements of head-mounted display", *Proceedings of the International Display Workshops*, 28, pp.587-589 (2021)
- 24) 原澤ほか: "頭部中心座標系での視野偏角度と空間周波数特性の関係～耳側と下側での予備的検討～", *映情学技報*, 47, 12, pp.29-31 (2023)
- 25) 松永ほか: "中心視野と周辺視野で公平なディスプレイデザインの視覚心理学的検討", *映情学技報*, 46, 13, pp.1-4 (2022)
- 26) J. Jung, et al.: "Guidelines for remote experts viewing sessions", *ISO/IEC JTC 1/SC 29/AG 5*, 20976 (2021)
- 27) 麻生ほか: "ディスプレイの低輝度階調表現と色域が画像感性評価に与える影響の検討", *映情学技報*, 46, 13, pp.9-12 (2022)
- 28) 西澤ほか: "Posner課題を用いた微風の注意誘導能力の検証", *映情学技報*, 46, 38, pp.7-10 (2022)
- 29) 管ほか: "実環境における直視型および反射型電子ルームミラーの視認性検討", *映情学技報*, 46, 13, pp.25-28 (2022)
- 30) N. Shirai, et al.: "A novel on-demand remote testing system for infant visual perception", *基礎心理学研究*, 40, 2, pp.110-120 (2021)
- 31) S. Droit-Volet, et al.: "How emotions colour our perception of time", *Trends Cogn. Sci.*, 11, 12, pp.504-513 (2007)
- 32) S. Droit-Volet, et al.: "The time-emotion paradox", *Phil. Trans.R. Soc. B*, 364, pp.1943-1953 (2009)
- 33) 北島ほか: "VRにおける恐怖感情の喚起が心理的時間に与える影響に関する検討", *映情学技報*, 45, 36, pp.1-4 (2021)
- 34) G. Mullen, et al.: "Time Compression in Virtual Reality", *Time Perception*, 9, 4, pp.377-392 (2021)
- 35) 佐久間ほか: "HDMによる全周実写映像視聴における速度・時間知覚に関する基礎的分析", *映情学技報*, 45, 36, pp.5-8 (2021)
- 36) 片平ほか: "SD法を用いた感性の測定における評価の階層性", *日本感性工学論*, 17, 4, pp.453-463 (2018)
- 37) S. Okamoto, et al.: "Computation of sensory-affective relationships depending on material categories of pictorial stimuli", *IEEE Transactions on Affective Computing* (2020)
- 38) 永井ほか: "視覚心理物理学的応答時間からみる質感覚と感性生起の階層構造", *映情学技報*, 46, 7, pp.105-108 (2022)
- 39) N. Yee, et al.: "The Proteus Effect: the Effect of Transformed Self-Representation on Behavior", *Human Communication Research*, 33, pp.271-290 (2007)
- 40) D. Banakou, et al.: "Virtually being Einstein results in an improvement in cognitive task performance and a decrease in age bias", *Frontiers in Psychology*, 9, pp.917 (2018)

- 41) 大久保ほか：“自己認知の変化が重さ知覚に与える影響に関する定量的検討”，映情学技報，45，36，pp.33-36（2021）
- 42) 井上ほか：“メタバース社会における対人インタラクション研究（Phase1）-対面と非対面（VRアバター，Web会議ツール）コミュニケーションの違い-”，映情学技報，46，38，pp.39-42（2022）
- 43) 板坂ほか：“自動二輪車用ナビゲーションの確認動作に関する熟練者と初心者の比較検討”，映情学技報，45，36，pp.37-40（2021）
- 44) 本多：“マルチモーダル/クロスモーダル知覚”，音響キーワードブック（日本音響学編），pp.408-409（コロナ社，東京，2016）
- 45) K. Chládková, et al.：“The McGurk effect in the time of pandemic: Age-dependent adaptation to an environmental loss of visual speech cues”，Psychonomic Bulletin & Review，28，pp.992-1002（2021）
- 46) 河合ほか：“ヘッドマウントディスプレイ利用時の周辺視野における腹話術効果”，音響誌，79，3，pp.148-151（2023）
- 47) 河合ほか：“3DスキャンしたスピーカをHMDで提示する視覚刺激の背景として提示したときの腹話術効果”，日本音響学2023年春季研究発表会講演論集，pp.465-466（2023）
- 48) 山高：“音刺激の長さ属性がベクシオン知覚時の音像定位に及ぼす影響”，信学技報，HIP2022-77，122，386，pp.17-20（2023）
- 49) 酒井ほか：“視覚刺激が合成バイノーラル信号の音像の分離知覚に与える影響”，映情学技報，46，7，pp.57-62（2022）
- 50) 北條ほか：“リフレッシュしやすさに及ぼす視覚と聴覚の調和感の影響に関する研究”，日本音響学2020年秋季研究発表会講演論集，pp.997-1000（2020）
- 51) 山崎ほか：“視覚情報の有無が音環境に対する評価構造に与える影響”，日本音響学2020年秋季研究発表会講演論集，pp.1001-1004（2020）
- 52) 米村ほか：“3次元視聴覚再生システムを用いた風車騒音の主観評価実験”，日本音響学2021年秋季研究発表会講演論集，pp.463-466（2021）
- 53) 増田ほか：“自動車内の視覚情報表示とサイン音の相互作用に関する基礎検討”，日本音響学2020年春季研究発表会講演論集，pp.1365-1368（2020）
- 54) 風岡ほか：“仮想空間における響きの印象に関する研究-仮想空間の視覚情報に調和する残響時間の検証-”，日本音響学2022年秋季研究発表会講演論集，pp.775-778（2022）
- 55) 堀内ほか：“インタラクティブ視聴を実現する音場のズーム合成技術の研究開発”，映情学誌，73，1，pp.167-172（2019）
- 56) 渡壁ほか：“3次元音場再生システムにおける再生方式の検討と映像付加による主観的印象への影響”，日本音響学2021年春季研究発表会講演論集，pp.1307-1308（2021）
- 57) 阿部ほか：“音から生成した全身振動の周波数特性が高次感性に与える影響-多感覚情報の高次感性を定める要因の解明を目指して-”，日本バーチャルリアリティ学論，26，1，pp.62-71（2021）

58) 阿部ほか：“多感覚コンテンツに付加する全身振動情報の最適振動レベル決定法に関する検討”，第26回日本バーチャルリアリティ学会大会論集，2B3-5（2021）

59) 伊東ほか：“視聴触覚間のクロスモーダル効果による風向き知覚操作”，日本バーチャルリアリティ学論，20，4，pp.277-387（2019）



**永井 岳大** 2007年，東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報システム創造専攻博士後期課程修了。カリフォルニア大学サンディエゴ校博士研究員，豊橋技術科学大学助教，山形大学准教授を経て，2018年より，東京工業大学大学院総合理工学研究科，色覚や質感知覚等に関する心理物理学的研究に従事。博士（工学）。



**原澤 賢充** 1996年，東京大学文学部卒業。2001年，同大学大学院人文社会系研究科博士課程単位取得退学。日本学術振興会特別研究員等を経て，2006年，NHK入局。2020年，東北大学大学院情報科学研究科博士課程修了。知覚の実験心理学と映像技術を横断する研究に従事。博士（情報科学）。



**小濱 剛** 1997年，豊橋技術科学大学大学院システム情報工学専攻修了。愛知県立大学情報科学部を経て，2005年より，近畿大学生物理工学部。現在，同大学准教授。眼球運動生成メカニズムにおける視覚的注意機構の機能など，視覚認知に関する大脳皮質の情報処理システムに関する研究に従事。2011年，本学会論文賞受賞。博士（工学）。正会員。



**萩谷 光晴** 2008年，筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻一貫制博士課程修了。同年，東北大学電気通信研究所産学官連携研究員。東京工科大学助教を経て，2016年より，神奈川大学工学部経営工学科特別助教。視覚情報処理，ユーザビリティの研究に従事。博士（工学）。正会員。



**森川 大輔** 2013年，富山県立大学大学院工学研究科知能デザイン工学専攻博士後期課程修了。北陸先端科学技術大学院大学助教を経て，2017年より，富山県立大学工学部講師。空間音響に関する研究に従事。博士（工学）。