

ヒューマンインフォメーションの研究動向

佐藤雅之^{†1}, 永井岳大^{†2}, 福田一帆^{†3}, 近藤 悟^{†4}, 磯貝 愛^{†5}

1. まえがき

2019年7月に第15回 Asia-Pacific Conference on Vision が大阪で開催された。第1回の葉山(2001年), 第4回の松江(2006年), 第10回の高松(2014年)に続き, 4回目の日本開催となった。2010年までは隔年の開催であったが, それ以降は韓国, 中国, オーストラリア, 台湾, 香港, シンガポールなどのアジア・環太平洋地域で毎年開催されるようになり, 規模も年々拡大してきた。この地域における研究交流の場としてさらなる発展が期待される。

本稿では, ヒューマンインフォメーションに関連する三つの研究分野, ①視覚, ②画質・映像評価, ③映像機器インタフェースについて, 最近の動向を解説する。(佐藤)

2. 視 覚

2.1 質感

質感の知覚や認知についてはさまざまなアプローチにより近年活発に研究され, ヒューマンインフォメーションにおける一分野として確立してきた。質感は視覚だけではなく, 触覚や聴覚なども含めた典型的なマルチモーダルな知覚であり, それらの相互作用の解明も質感知覚の理解には極めて重要であるが, ここでは視覚における質感研究について述べていく。

質感と表現される感覚は多種多様であるが, 視覚において最も代表的な質感属性は光沢感であろう。従来の研究では, 単純な画像統計量と光沢感の関係性が議論されることが多かったが, 形状知覚と光沢感の相互作用に関する研究から, 物体の形状解析が光沢感知覚に重要である可能性が指摘されるようになった。この流れの中で, 同一画像から

質感と形状を同時に捉える視覚系の機序に関する報告が増えてきた。Sawayamaら¹⁾は, 物体画像中の輝度勾配情報の異なる特性を用いることで物体表面の反射特性(光沢感)と形状を別々に計算できる可能性を指摘した。具体的には, 物体の反射特性を変えてもピクセル間の輝度の大小の順序はほぼ不変であり, また輝度の大小の順序を維持したまま輝度勾配を操作しても形状知覚が変わらないという解析結果などに基づき, 物体表面の輝度勾配の大きさから反射特性を, ピクセル間の輝度の大きさの順序から形状を推定できると述べている。Tamuraら²⁾³⁾は, 光沢を呈する素材の中から鏡とガラスに着目し, 回転運動する物体上において鏡とガラスを見分ける際に有用な画像情報を解析した。その結果, 物体回転方向とは反対方向の運動ベクトルの存在の有無が鏡とガラスを見分ける際の重要な手がかりであること, また, ガラス物体刺激において鏡のように誤って知覚される場合があったが, その場合には知覚される素材だけでなく運動方向と物体形状も誤って知覚されることなどを報告している。これは, 質感知覚と運動・形状知覚が運動ベクトル成分を介して密接に関わることを示唆する。これらの報告は, われわれが日常感じているように形状と質感を同時に推定する視覚情報処理の本質の一端を示していると考えられる。

一方で, 画像特徴と質感知覚の関連だけでなく, 実物体に対し質感を付与する状況を考えれば, 照明環境や反射特性等の物理変数と質感知覚の関連性を理解することも重要な課題である。例えば, 照明環境に着目した研究として, Yamazoeら⁴⁾は, オレンジやりんご等のいくつかの物体を拡散性の異なる照明下で観察した際のさまざまな質感評定値について報告している。その結果, 特に光沢感は, 照明の拡散性が増加するほど有意に低下したことから, 照明の拡散性が知覚的な光沢感に顕著な影響を与えることを明らかにしている。今後は, 照明のみならず, 物体の反射特性や形状が知覚的な質感へ与える影響のモデル化が待たれる。

上述したとおり, 質感は形状や動きなどその他の視知覚と相互作用する。その中でも, 特に色との相互作用について継続的に報告がなされている。例えば, Tanakaら⁵⁾は, 紙や布などの本来光沢のない素材に黄色など特定の色光を

†1 北九州市立大学

†2 東京工業大学

†3 工学院大学

†4 NHK 放送技術研究所

†5 NTTメディアインテリジェンス研究所

"TTE Review 2019 Series (5): Human Information" by Masayuki Sato (The University of Kitakyushu, Fukuoka), Takehiro Nagai (Tokyo Institute of Technology, Kanagawa), Kazuho Fukuda (Kogakuin University, Tokyo), Satoru Kondo (NHK Science & Technology Research Laboratories, Tokyo) and Megumi Isogai (NTT Media Intelligence Laboratories, Kanagawa)

照射すると知覚的にはそれらの素材が金、銀、銅などの金属に見える現象を報告するとともに、その現象を用いて金属らしさを知覚するための画像的な条件を検討した。その結果から、例えば、金と銅の知覚では輝度の高い輝き部分の影響が大きく異なることを示しており、光沢知覚と金属知覚の間では輝度・色度情報の寄与が大きく異なると考えられる。同様に、永井ら⁶⁾は鏡面反射成分を有する画像と有しない画像における照明色変化の認知特性を調べ、物体画像の色度全体がシフトした場合には、鏡面反射成分を有する画像においてその色変化が物体色の変化ではなく照明変化と認知されやすいことを報告している。この結果は、鏡面反射成分が照明色をそのまま反映する場合が多いという物理的特性と整合する。このように、物体の質感は色知覚と強く相互作用するわけであるが、その知覚特性が外界の物理的特性と整合していることを考慮すると、その知覚機序は外界観察の経験により獲得されていた可能性を疑わせる。この経験による影響を直接的に探る試みとして、永井ら⁷⁾や清川ら⁸⁾は、被験者を2グループに分けて継続的に質感弁別課題を行わせ、質感判断精度の推移を観察した。これらのグループは、ほぼ同じ刺激を観察するが、一方のグループでは光沢感のみ、他方のグループでは透明感のみを継続的に弁別課題を行った。その結果、同じ刺激を見ているにも関わらず、継続的に弁別を行った質感に対してのみ感度が上昇し、他方の質感に対しては感度上昇は生じなかった。このことから、質感判断の学習が生じるためには、単に刺激を観察するだけでは不十分であり、質感判断を継続的に繰り返す必要があると考えられる。

このように質感知覚に関する知見は少しずつ得られているものの、質感知覚と関連する画像特徴が当初の期待と比較すればかなり複雑なものであると思われること、深層学習を用いたスタイル変換技術等が発展してきたことなどを考慮すると、これまでのような心理物理学のアプローチで迫ることのできる質感知覚機序は極めて限定的であるように思われる。新たな心理物理実験法の開発や深層学習の活用などを通じて、質感知覚機序の理解がより一層進むことを期待したい。

2.2 色覚

ヒューマンインフォメーション分野の中でも長い歴史を持つ色覚研究に関しては、色光の情報処理、高次認知との関連性、色覚異常のサポートのための試みなどのさまざまな視点からの研究がある。知覚色の形成という一見単純そうな問題についても、網膜に入射した色光に対する網膜や皮膚などさまざまなレベルでの情報処理が関与することから、この情報処理過程の解明はヒューマンインフォメーションにおける課題の一つである。この課題に対し、異なる知覚タスクを活用した実験結果についていくつか報告があった。例えば、齋藤ら⁹⁾は、網膜上の生理学的個人差の一つであるL/M錐体数比が輝度や色の知覚にどのような影

響を与えるか実験的に検討した結果、輝度知覚ではさまざまな特性においてL/M錐体数比の影響を受けるが、色知覚においては影響がほぼまったく見られないことを報告した。色知覚においては、生理学的個人差がかなり早い段階で補正されると考えられる。より高次な色情報処理として、Kimura¹⁰⁾は多数の色パッチの知覚的平均色について検討した結果、知覚的平均色の色相は刺激色の色空間内での平均とほぼ一致する一方で、彩度の知覚は高彩度側にバイアスされることを報告した。また、初期レベルの色情報表現である錐体拮抗型の情報表現では、このバイアスが説明できないことも解析結果から述べられている。さらに、Shimakuraら¹¹⁾は時間的に色相が入れ替わる刺激に対して順応する場合でも、両眼間で色相交代の位相を反転させながら順応することで、色順応効果が強くなる現象を報告した。このような順応効果は、両眼からの情報を時間的に統合しないと生じないと考えられることから、皮質に存在する高次な色順応メカニズムの存在を示す結果といえる。

色知覚は単に色光の分光分布で決まるわけではなく、例えば上述した通り、質感的な視覚情報は色知覚と相互作用する。さらに、それ以外の高次な視覚要因と色知覚の影響についても報告があった。例えば、濱田ら¹²⁾は、肌のテクスチャを持つ刺激におけるさまざまな色方向への色弁別課題において、単色パッチを用いた場合には得られない色方向依存性が存在する可能性を指摘している。メイクアップに見られるように顔刺激特有の知覚特性がある可能性を考慮すれば、色知覚においても肌情報取得に特化した機序が存在する可能性も否定できない。Morimotoら¹³⁾は、色恒常性の測定において、モニタ上の2次元刺激に対する3次元知覚の容易さを、単眼観察や頭部運動付などにより操作したところ、刺激を3次元に知覚しやすい条件ほど色恒常性が強くなることを報告している。この結果は、刺激の3次元性という色光とは直接関係ない要因が色知覚を変容させることを示している。これらの視覚要因と色知覚の関係性は、ヒトが色情報を用いる上での戦略を示す重要な知見となると考えられ、今後のさらなる検討が期待される。そのための実験手法の開発検討も進んでおり、例えば、竹内ら¹⁴⁾は色恒常性の獲得過程を調べるためのモデル動物としてひよこを活用することを提案している。

色覚研究の応用として、色覚異常を対象とした技術開発も増えてきている。色覚異常の人々が日常生活で抱える問題点を正常色覚の人々に理解してもらう上で、色覚異常の色の見えシミュレーションは重要な技術である。しかし、現状の色覚異常のシミュレーションは、XYZなどの三刺激値に基づく方法が多く、シミュレーションの精度に問題がある。Yaguchiら¹⁵⁾は異常三色覚の錐体分光感度そのものが正常三色覚とは異なることを考慮し、分光画像に基づいた新たな異常三色覚の色の見えシミュレーション手法を提案している。異常三色覚を被験者とした実験により、実際

に提案手法が妥当であることも確認されている。一方で、色覚異常の人々に的確に情報伝達できる色デザイン手法の開発も重要な課題である。この課題に対し、色覚異常の人々に見やすい色配置を出発点として三色覚者用に調整するという、従来とは手順が逆のデザイン手法の開発が進んでいる。須長ら¹⁶⁾はこの新たなデザイン手法における現状の問題点(出発点となる色配置に用いる色セットが現状提示されていないことなど)を指摘するとともに、それらの問題点を解決できる具体的な手順を提案している。これらの研究は、色覚研究の成果を科学技術として昇華させる意味で非常に重要な意義を持つ。

色覚研究は長い歴史を持つがゆえに、解明困難な問題が残っているように思われる。例えば、視覚野以降の色情報処理については少しずつ知見が増えてはいるものの全容解明には程遠いのが現状である。これらの解明を進めることで、色覚異常に関する応用研究のように、高次色覚や色認知特性を活用した新たな視覚情報提示技術へつながることを期待したい。(永井)

2.3 奥行き知覚

両眼網膜像差(両眼視差)は有効な奥行きの手がかりであり、立体映像の原理としても利用されているが、そこから知覚される奥行きの大きさや感度には個人差が大きいことが知られている。映像技術の発展や用途の拡大にともない、映像において両眼視差を用いて奥行きを表現するデバイスの実用機会が増加しているが、それに伴い、両眼立体視の個人差の正確な評価方法や、個人差の原因の解明が求められている。

立体視力の個人差に関して、Oishiら¹⁷⁾は立体視能の個人差と脳内の神経基盤との関係を明らかにするため、脳の腹側経路と背側経路とを結ぶ線維束の働きに着目し、MRIによる線維束の測定と、心理物理実験による立体視力の測定結果を比較した。その結果、立体視力の高い実験参加者は大脳右半球後頭葉において背側と腹側を連結しているVertical Occipital Fasciculusと呼ばれる線維束の神経組織密度が高いことが明らかにされた。このように神経生理学的な差異が発見されたことは、今後の立体視能の個人差の研究進展へ大きく貢献するであろう。

Sawamuraら¹⁸⁾は両眼立体視を有する斜視患者群、両眼立体視を有さない斜視患者群、斜視ではない健常群の間で、陰影、肌理、動き、両眼視差による3次元形状知覚を比較した。その結果、単眼性静止情報である陰影および肌理による3次元形状知覚において両眼視差を有さない斜視患者群と健常群の間に有意な差異が認められた。一方で両眼視差を有する斜視患者群と健常群の間には有意差は認められず、また、動きによる3次元形状知覚には斜視患者群と健常群に差異は認められなかった。これらの結果から、斜視疾患の有無ではなく、両眼立体視の有無が単眼性静止情報による3次元形状知覚に深く関連していること、また脳内における3次元形状知覚に関する神経基盤の働きがこれら

の処理に関与していることを説明した。

両眼立体視の個人差が問題とされている一方、個人の立体視能の評価にはさまざまな手法が用いられており、精度と信頼性の高い標準的な方法は確立されていない。佐藤ら¹⁹⁾は、個人の立体視能を評価する検査手法の一つであり、シンプルで被験者も理解しやすく高精度の測定も可能なヘキサゴンドット立体視力テスト(Coutantら²⁰⁾)に関して、刺激の空間特性による影響を検討した。ドットの大きさとドット間距離の影響を検討した結果、ドットの大きさの影響は限定的である一方、一定範囲を超えるドット間距離では顕著に閾値が大きくなり適切な結果が得られないことを示した。また、実験で最小の閾値を示したドット間距離について、立体視の空間周波数特性の観点から過去の研究と比較している。

両眼立体視による奥行き知覚の問題点として、個人差以外にも、3D映像における仮想物体の両眼視差による理論的な呈示位置と、ユーザから実際に仮想物体が見えている位置(知覚位置)がしばしば一致しない問題がある。これは特に仮想物体とのインタラクションを可能とするときに解決が必要となる課題である。小澤ら²¹⁾はユーザの身体動作から仮想物体の知覚位置を推定する研究を進めており、仮想物体に対する主な動作であるリーチングとヒッティングに関して、これらを動作特性から弁別する手法を提案し、動作速度の標準偏差を用いることで弁別が可能であることを示す結果を報告した。両眼立体視による奥行き知覚の個人差が大きいという事実に対して、このような方法による解決は、多くの人が3D映像とのインタラクションを体験するために大変意義のある研究といえるだろう。今後もさまざまなアプローチにより、両眼立体視、奥行き知覚とその個人差に関する研究が進み、その成果としてより多くの人々が快適に3次元映像を利用できるようになることを期待する。

2.4 眼球運動

ヒューマンインフォメーション研究会では、眼球運動の様態、特徴の研究および視線や潜在的な意識を測定、推定する研究が毎年報告されている。社会応用の観点からも、さまざまな方面から期待を受けている分野である。最近の研究から、映像から視聴者の視線の動きを推定する研究、無意識な眼球運動から潜在的な意識との関係を明らかにする研究、無意識な微小眼球運動の性質や役割についての研究について報告する。

植村ら²²⁾は、1秒以下で交互呈示される二つの顔画像間の選好判断において、選好判断に先立ち選択刺激方向へ眼球運動が偏るという視線カスケード現象(Shimojoら²³⁾)に関して、眼球運動に追従して刺激位置を変化させることにより網膜位置の偏りの影響を排除して検討を行った。その結果、相対的に呈示時間が長い顔画像に対して、刺激方向へのサッケード数に比例して選好が増加する傾向が示され

た。

自然画像の自由観察時（明確な探索目的を持たない）の視線分布を数学的に予測するための数理モデルとして、岡崎ら²⁴⁾は、確率的顕著性マップに基づく視線予測モデルに初期視覚系における中心周辺拮抗型受容野の特性を考慮することにより拡張したモデルを提案し、シミュレーション結果と実測データにおいて注視点の累積分布を比較した結果から、提案モデルの有効性を示した。

固視中の微小な眼球運動の一種である振動運動のトレマが網膜視細胞の分布特性を超越する副尺視力に寄与している可能性について、久保ら²⁵⁾は視細胞のサンプリング特性、網膜神経回路モデル、トレマの振幅特性などを考慮したモデルを構築して、副尺視力に対する網膜応答のシミュレーションを実施した。その結果、トレマ信号の有無により副尺視力を計測するための上下線分間の位相差情報の保持精度が異なることから、副尺視力に対するトレマの寄与の可能性を示した。

固視中に眼球がゆっくり揺らぐ現象であるドリフト眼球運動については、視覚的注意といった認知機能が影響を及ぼすことが報告されている。大谷ら²⁶⁾は固視微動の計測データからマイクロサッカードの成分を除去したデータについて年代間で比較を行い、その結果、ドリフト眼球運動の低周波成分には年齢と負の相関が、高周波成分には年齢と正の相関が表れ、ドリフト眼球運動に加齢の影響が示されたことを報告した。

2.5 その他

映像呈示の広視野高精細化、VR技術の進展にともない、それらが人に与える感覚や効果、映像と違和感なく円滑にインタラクションするための技術の研究も進められている。

映像の広視野化にともない映像全体が揺れる動揺映像から身体への悪影響・不快感の体験の増大が懸念される。蓼沼²⁷⁾は、この不快感を映像から機械的に数値化、自動検出する手法に関して研究開発を進めている。その中で、映像による不快感は動揺認知量（揺れの大きさの感覚）と乖離する原因について、視野サイズ・誘目度・動揺領域間距離の影響が検討された。

広視野の同調運動からは視覚誘導性の自己運動感覚（ベクション）が知覚される。玉田ら²⁸⁾は、前進ベクションを知覚させる放射状の同調運動を視覚情報として呈示すると同時に、頸部、臀部、足裏への振動を呈示することにより、ベクションが促進するか検討した。実験の結果、坂道の上下りを模擬した視覚刺激の場面に合わせた振動情報を与えることによりベクションが促進することが明らかにされた。

VRにおいてユーザに現実と同様な感覚を与えることは達成目標の一つである。VR体験中のユーザの心理状態の変化に関して、保谷ら²⁹⁾は火災避難体験VRを作成して避難時の行動特性を調査するとともに、平静なVR体験と火災VR体験が異なる心理状態を与えるかを検討するため、

心拍間隔変動の高周波成分HFに対する低周波成分LFの比LF/HFを指標として検討した。その結果、火災避難VR体験時は平静なVR体験時よりもLF/HFの値が有意に上昇することが示された。

VRの体験を向上させる方法として、聴覚刺激を与える方法も検討されている。久米ら^{30) 31)}は、ヘッドマウントディスプレイを用いて呈示したVR空間においてユーザが素手で仮想物体を指で挟んで変形させるときの、仮想物体の柔らかさの知覚を向上させる方法として、聴覚刺激を与える効果を検討した。仮想物体が変形限界に達したときに聴覚刺激を与える条件と、聴覚刺激なしの条件を比較したところ、聴覚刺激を与えることにより仮想物体の柔らかさがわかりやすくなること、また、操作感も向上するという結果が報告された。

映像のリアリティと快適性の両立、多感覚を利用した映像とのインタラクションの操作感向上など、映像技術の進展には、ヒューマン情報処理に関する研究成果の貢献が期待される。今後も、これらの研究についてヒューマンインフォメーション研究会の中でさまざまな報告が活発に行われ、当該分野の基礎研究の進展、応用の拡大につながっていくことを期待したい。

（福田）

3. 画質・映像評価

2018年12月に4K/8K放送サービスが本格的に開始してから、家庭や電気店の店先などで4K/8K放送の番組に触れる機会が増えてきた。なかでもパブリックビューイングなどで8Kに触れた方から、特に静止画で立体感が得られるという感想が寄せられている。どのような機序で立体感が得られているのかはまだ研究段階であるが、ここでは8Kの画質の評価手法についての最新動向を一部紹介する。

テレビの評価実験に用いられる標準的な視距離は、2K（フルHD）で画面高さの3倍、4Kで1.5倍、8Kで0.75倍である。この値は、視力1.0の観察者が画素構造を区別できない視距離として定められている。一方で、視距離は、臨場感として視野を覆う画角との関連から、また実物感として視角あたりの画素数の関係からも検討されている。

画像の空間周波数の影響を実物感（realness）の観点から調べた正岡らの論文³²⁾では、実物と電子的に表示された同じ実物の空間周波数を変化させた画像を比較し、それらの差が分からなくなる空間周波数を主観評価実験によって求められている。シノプターによって両眼視差の影響を相殺した条件下で、実物と空間周波数を変化させた画像を被験者に提示して、一対比較により実物に見えるほうを選択させる主観評価を行った結果、空間周波数を上げることによって実物感は上昇し、空間周波数として60 cycles/degree (cpd) 以上であれば実物と画像の区別がつかなくなるとの結果が示されている。Parkらの最新の報告³³⁾では、同じ画面面積を持つ4Kと8Kのディスプレイおよび実物像を用い

て必要な条件を求めており、4K (60cpd) よりも8K (120cpd)の方がより実物感があるとの結果が得られている。彼らは8Kの解像度では被写体のエッジがより細かく表現され、エッジ部のコントラストや輝度勾配がより知覚されやすくなることで立体として感じやすくなると考察している。8K制作された高解像度の静止映像に接すると立体感が強く意識されると結論づけられれば、8Kテレビの購入者から寄せられる感想の裏付けにもなり得るであろう。McCarthyらは、これまで評価実験に用いられてきた標準的な視距離の算出方法を考案した頃に比べて、表示装置における画素の細かさが向上しただけでなく、表出されている発光体の構造が異なることから、視力を基準としてその視距離を求めることは、他の心理学的な見え方を考慮しても単純ではないと提唱している³⁴⁾。このようなことから、今後さらに、角解像度をパラメータとした画質の評価方法が求められていくと考えられる。

(近藤)

4. 映像機器インタフェース

VR元年と呼ばれた2016年度以降、VR技術の進歩は著しく、ハイエンドなHead Mounted Display (HMD)だけでなく身近なスマートフォンでもVR体験が可能となったことで、エンタテインメント分野を中心にさまざまなVR技術を用いたサービスが提供されている。VRの市場拡大により、現実の世界と融合した新たな映像サービスとしてAR/MR技術の注目も高まっている。国際会議SIGGRAPHが2018年にVR専門のVR VillageからAR/MRも含めたVirtual Augmented and Mixed Realityに変更したように、学術分野でも対象分野をVR/AR/MRに拡大し、多くのセッション・発表が行われている。本節では、VR/AR/MRの観点から映像インタフェースの動向を紹介する。

4.1 VR/AR/MRデバイスの動向

VR分野では、PCと接続して使用するハイエンドHMDを中心にデバイス性能の向上が顕著であった。2018年4月に国内販売が開始されたHTC社のVIVE Pro³⁵⁾のディスプレイ解像度は、2016年販売のVive³⁶⁾の2,160×1,200から2,880×1,600に向上し、より高精細な映像提示が可能となった。StarVR社のStarVR One³⁷⁾の水平視野角は、人とはほぼ同等の水平視野角210度に拡大され、これまで以上の没入感が実現された。また、PCやスマートフォンといった周辺機器を必要としない、ミドルレンジの一体型HMDの普及が始まったことも2018年の特徴として挙げられる。ハイエンドHMDは、高性能なPCが必要な上に、位置計測のための外部センサの設置やケーブルの取り回しの複雑さもあり、家庭での利用は困難であった。一体型HMDは、デバイス性能はハイエンドHMDに及ばないが、HMDの前面に内蔵されているカメラで空間を認識するインサイドアウト方式を採用したことで、外部センサの設置やケーブル接続を必要とすることなく、一定品質のVR体験が可能と

なることから、VR技術のさらなる浸透のきっかけとして期待されている。

一方、AR/MR分野においても、発売前から高い注目を集めていたハイエンドAR/MRデバイスであるMagic Leap One³⁸⁾が、アメリカ国内限定で販売を開始した。これまでのシースルーAR/MRデバイスは映像を重畳できる範囲が狭いことが課題だったが、Magic Leap Oneでは視野が40度に拡大されたことで、実空間の物体とのインタラクションが向上した。2019年2月に開催されたMWCで、Microsoftから既存のHololensに比べて視野を2倍に拡大したHololens2³⁹⁾が発表され、2019年以降も、シースルーAR/MRデバイスを活用したアプリケーションやサービスへの注目が高まっている。

このように、VR/AR/MRを代表とする映像機器インタフェースは、研究者と一般ユーザから高い注目を集めている。VR/AR/MR映像体験の向上に関する数多くの研究発表がなされているが、ここではその中のいくつかを紹介していく。

4.2 焦点調整機能による体感品質向上

従来のHMDは人間の両眼視差による奥行き知覚に対応しているが、人間の焦点変化には対応していないため、焦点変化による奥行き知覚ができず、VR酔いや疲労の大きな要因となっていた。2017年に販売されたFOVE⁴⁰⁾は、HMD内側のレンズ周囲に組み込まれた赤外センサで視線を追跡し、注視している領域は高解像度、それ以外の領域は低解像度でレンダリングすることで、視線に応じた映像処理を実現しているが、焦点距離の変化には対応できていなかった。この問題に対して、SIGGRAPH 2018 Emerging Technologiesで、Lemnis Technologies社は、アイトラッキングで追跡した視線に応じて、光学的にディスプレイの位置を変化させることで、焦点変化に対応したHMDを発表した⁴¹⁾。また、Oculus社が発表した次世代HMDのプロトタイプであるHalf Dome⁴²⁾でも、ディスプレイを可動させ焦点距離を調整する機能が搭載されており、より自然で臨場感の高いVR体験が期待される。

一方、Light FieldのVR応用に関する研究も取り組まれている。Light Fieldは、3次元空間中の光線情報を撮影・処理・提示することで、視線に応じて焦点距離を変化させるだけでなく、実空間に近い映像を提示することができる。しかし、視線方向ごとに光線情報が必要となるため、一視線あたりの映像の解像度が低くなるのが、実用化の課題となっている。人間の視覚特性を活用し、離散的な視点の光線情報をもとに、ディスプレイ内部で複数の光線を光学的に加算することで、中間視点の光線を表現する手法が提案されている⁴³⁾。中間視点を補完し画素数を節約することで、一視線あたりの映像の解像度が保持され、高精細な映像を提示することができる。今後は、焦点調整機能を搭載したHMDが普及していくことで、これによりディスプレ

イ越しであっても人間の目の焦点調節が可能となり、VR酔いや疲労感が軽減された臨場感の高いVR体験が期待される。

4.3 VR/ARコンテンツ制作技術

VRサービス普及は、全天球映像を撮影するためのカメラや映像編集ツールの性能向上に支えられてきた。臨場感の高いVR体験を向上させるため、ハイエンドな全天球カメラ Insta360 pro2⁴⁴⁾ は、8K解像度の映像を撮影することができる。CES 2019で、11K解像度に対応した上位機種 Insta360 Titan⁴⁵⁾ が発表され、今後も解像度の拡大が見込まれる。

また、CGコンテンツの分野では、CGキャラクタを用いたコンテンツ配信Vtuberへの人気が高まったことで、人の動きを取得するモーションキャプチャ技術が注目されている。光学式マーカー等を主要関節に装着してセンシングするモーションキャプチャシステムを必要としなくても、部屋のような限定された空間であれば、HMDに付属するコントローラや外部センサで全身の動きを取得することができ、従来に比べて手軽にコンテンツ配信ができる環境が整ってきている。広域空間を対象として、各カメラ映像から人の動きを推定し、複数カメラの情報をもとに3次元空間上でのCGモデルを動作させる研究が提案されている⁴⁶⁾。実用化に向けては、人の動きの推定精度、トラッキング等の課題があるが、コンテンツ制作を支える技術として期待される。

(磯貝)

5. むすび

ヒューマンインフォメーション研究会で行われた研究発表を中心に、最近2年間におけるこの分野の研究動向をまとめた。

深層学習が画像識別器の枠を超えてさまざまな領域で応用されている。ヒトの視覚系のモデルとして学習を行い、学習後のシステムを分析することによりヒトの視覚系に関する知見を得ることを目的とした研究も大きな成果を挙げている。今後のさらなる展開に期待したい。

(佐藤)

(2019年6月2日受付)

〔文 献〕

- 1) M. Sawayama, et al: "Material and shape perception based on two types of luminance gradient information", Plos Comput. Biol., **14**, 4, e1006061 (2018)
- 2) H. Tamura, et al: "Dynamic visual cues for differentiating mirror and glass", Scientific Reports, **8**, 8403 (2018)
- 3) H. Tamura, et al: "The Rotating Glass Illusion: Material Appearance is Bound to Perceived Shape and Motion", i-Percept., **9**, 6, 2041669518816716 (2018)
- 4) T. Yamazoe, et al: "Evaluation of Material Appearance Under Different Spotlight Distributions Compared to Natural Illumination", J. Imaging, **5**, 2, 31 (2019)
- 5) Tanaka et al: "Investigation of metallic color perception using real-world materials", Col. Res. Appl., **43**, pp.697-712 (2018)
- 6) T. Nagai, et al: "Do specular highlights and the daylight locus act as

- cues for estimating illumination color from a single object?", Opt. Rev., **24**, 1, pp.47-61 (2017)
- 7) 永井ほか: "質感知覚における課題依存的な知覚学習", 映像情報, **42**, 43, pp.25-28 (2018)
- 8) 清川ほか: "能動的課題遂行による視覚的質感判断への知覚学習", 日本感性工学論誌, **17**, 2, pp.309-319 (2018)
- 9) 齋藤ほか: "輝度検出におけるL/M錐体比の効果～ノイズ効果と寄与比～", 映像情報, **41**, 40, pp.17-20 (2017)
- 10) E. Kimura: "Averaging colors of multicolor mosaics", Journal of the Optical Society of America A, **35**, 4, pp.B43-B54 (2018)
- 11) Shimakura et al: "Evidence for a central component in adaptation to chromatic light", Vis. Res., **159**, pp.42-47 (2019)
- 12) 濱田ほか: "肌画像における肌色の弁別特性", 日本色彩学誌, **42**, 2, pp.50-58 (2018)
- 13) T. Morimoto, et al: "Color constancy in two-dimensional and three-dimensional scenes: effects of viewing methods and surface texture", i-Perception., **8**, 6, 2041669517743522 (2017)
- 14) 竹内ほか: "ヒヨコを用いた色恒常性の研究", 映像情報, **43**, 5, pp.75-78 (2019)
- 15) H. Yaguchi, et al: "Computerized simulation of color appearance for anomalous trichromats using the multispectral image", J. Opt. Soc. Am. A **35**, 4, pp.B278-B286 (2018)
- 16) 須長ほか: "系統色名カテゴリーを用いた2色覚基点のカラーユニバーサルデザイン配色法の提案", 日本色彩学誌, **42**, 5, pp.209-217 (2018)
- 17) Oichi, et al: "Microstructural properties of the vertical occipital fasciculus explain the variability in human stereovision", PNAS, **115**, 48, 12289-12294 (2018)
- 18) Sawamura, et al: "Binocular stereo acuity affects monocular three-dimensional shape perception in patients with strabismus", Br.J. Ophthalmol., **102**, 1413-1418 (2018)
- 19) 佐藤ほか: "ヘキサゴンドット立体視力テストにおけるドット間距離の効果", 映像情報, **41**, 40, 51-54 (2017)
- 20) Coutant, et al: "Population distribution of stereoscopic ability", Ophthalmologic and Physiological Optics, **13**, 3-7 (1993)
- 21) 小澤ほか: "視知覚位置獲得技術のためのユーザ動作弁別", 映像情報, **42**, 7, 1-4 (2018)
- 22) 植村ほか: "選好判断に対する眼球運動の潜在的影響", 映像情報, **43**, 8, 9-12 (2019)
- 23) Shimojo, et al: "Gaze bias both reflects and influences preference", Nature Neuroscience, **6**, 12, 1317-1322 (2003)
- 24) 岡崎ほか: "初期視覚系の受容野特性を考慮した確率的顕著性マップによる自由観察時の視線予測", 映像情報, **42**, 7, 13-16 (2018)
- 25) 久保ほか: "視細胞サンプリング特性を考慮した網膜神経回路モデルに基づく副尺視力におけるトレマの効果", 映像情報, **42**, 7, 9-12 (2018)
- 26) 大谷ほか: "ドリフト眼球運動における加齢の影響", 映像情報, **42**, 7, 5-8 (2018)
- 27) 蓼沼: "広視野動揺映像における動揺認知量と不快感", 映像情報, **42**, 4, 93-98 (2018)
- 28) 玉田ほか: "振動によるベクションの増大-振動変調の位相と呈示部位の効果-", 映像情報, **42**, 43, 7-10 (2018)
- 29) 保谷ほか: "VRによる火災避難体験時の行動特性と精神負荷ストレスに関する研究", 映像情報, **43**, 8, 17-20 (2019)
- 30) 久米ほか: "仮想物体の視聴覚変化が素手による把持知覚に与える影響", 映像情報, **42**, 43, 53-56 (2018)
- 31) 久米ほか: "変形限界における聴覚刺激が素手による仮想物体の柔らかさ知覚に与える影響", 映像学誌, **72**, 8, 116-118 (2017)
- 32) K. Masaoka, Y. Nishida, M. Sugawara, E. Nakasu, Y. Nojiri: "Sensation of realness from high-resolution images of real objects", IEEE transactions on broadcasting, **59**, 1, 72-83 (2013)
- 33) D. Park, Y.J. Kim, Y.K. Park: "Hyperrealism in Full Ultra High-Definition 8K Display", SID Digest, the Society for Information Display, 1138-1141 (2019)
- 34) S.T. McCarthy, S. Daly, T. Kunkel: "Framework for Evaluating Display Resolution and Size in the Context of Video Compression

and Visual Acuity", SID Digest, the Society for Information Display, 1134-1137 (2019)

- 35) VIVE Pro, <https://www.vive.com/jp/product/vive-pro/>
- 36) VIVE, <https://www.vive.com/jp/product/>
- 37) StarVR ONE, <https://www.starvr.com/products/>
- 38) Magic Leap One, <https://www.magicleap.com/magic-leap-one>
- 39) Hololens2, <https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens>
- 40) FOVE, <https://www.getfove.com/>
- 41) P.Y. Laffont, et al: "Verifocal: A platform for vision correction and accommodation in head-mounted displays", ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies, ACM (2018)
- 42) Half Dome, <https://www.oculus.com/blog/introducing-the-team-behind-half-dome-facebook-reality-labs-varifocal-prototype/>
- 43) 伊達ほか: “視覚的に等価なライトフィールドフラットパネル3Dディスプレイ”, 画像電子学会誌, 48, 1, pp.264-272 (2019)
- 44) Insta360 Pro2, <https://www.insta360.com/product/insta360-pro2/>
- 45) Insta360 Titan, <https://www.insta360.com/product/insta360-titan/>
- 46) 岡見ほか: “空間再構成のための遮蔽に頑健な骨格推定技術に関する一検討”, VR学研報, 23, CS-3, CSV2018-20, pp.65-69 (2018)



佐藤 雅之 1996年, 東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了。ヨーク大学博士研究員, カリフォルニア大学バークレー校博士研究員を経て, 2001年, 北九州市立大学国際環境工学部助教授。現在, 同大学教授。人間の視知覚(特に奥行き知覚)に関する心理物理学的研究に従事。博士(工学)。正会員。



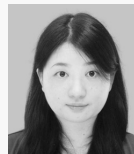
永井 岳大 2007年, 東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報システム創造専攻博士後期課程修了。カリフォルニア大学サンディエゴ校博士研究員, 豊橋技術科学大学助教, 山形大学准教授を経て, 2018年より, 東京工業大学工学院情報通信系准教授。色覚や質感知覚等に関する心理物理学的研究に従事。博士(工学)。



福田 一帆 2006年, 東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了。同年, カナダ・ヨーク大学博士研究員, その後, 東京工業大学特任助教, 同大学助教を経て, 2014年より, 工学院大学情報学部准教授。人間の視覚情報処理, 特に色覚や3次元空間知覚の研究に従事。博士(工学)。正会員。



近藤 悟 1993年, 東北大学工学部通信工学科卒業。同年, NHKに入局し, 放送技術研究所にて, VTRの機構制御など放送用機器の研究および開発に従事。2007年より, NHK大阪放送局, 長野放送局他を経て, 現在, NHK岐阜放送局技術部に所属。博士(工学)。正会員。



磯貝 愛 2005年, 岡山大学大学院自然科学研究科修士課程修了。2006年, NTTサイバースペース研究所(現NTTメディアインテリジェンス研究所)に入社し, 3次元映像処理および高臨場映像配信技術に関する研究開発に従事。2010年, 岡山大学大学院自然科学研究科博士課程修了。博士(工学)。