

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}, 澤島康仁^{†4}, 越智大介^{†5}

1. まえがき

2眼式の立体映像は映画を中心にある程度普及したが、視覚疲労の問題など、残された課題は少なくない。メガネなどの特殊な器具を必要としない立体映像表示システムが人間の輻輳・調節応答に及ぼす効果などについて、引き続き活発に研究が行われている。一方、ディスプレイの超高精細化が奥行き感の向上につながるという興味深い事実が報告されている。また、色域の拡大に伴いメタメリズムが崩壊するという事実は、基礎的な色覚研究の重要性を再認識させる。高い没入感・臨場感が容易に実現可能であるヘッドマウントディスプレイの動向からも目が離せない。

本稿では、ヒューマンインフォメーションに関連する3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、最近の研究動向を報告する。

(佐藤)

2. 視覚

2.1 質感認知

質感認知に関する研究発表は、近年ではさまざまな学会で大変盛んになってきている。一般に、眼に入射される視覚情報は照明と物体形状、そして質感に関わる物体の反射特性が絡み合った光学のプロセスにより生じるため、視覚情報のみから物体の質感(反射特性)を取出すのは非常に難しい問題であるように思われていた。しかし、ヒトが視覚情報から質感情報を抽出する際、非常に困難な逆光学計算をしているのではなく、画像成分と物体反射特性に関するヒューリスティクスを積極的に取り入れている可能性がさまざまな研究から相次いで報告されており、そのメカニ

ムの理解が急速に進みつつある。ヒューマンインフォメーション研究会も質感認知に注目しており、例えば、当会誌2014年12月号において「質感の科学—色覚・色彩科学の観点から」と題した特集を組んだ。

谿ら¹⁾は、半透明度の異なる複数のプラスチックボトルを実験刺激として用いて、ヒトが知覚する半透明感と照明条件の関連性を報告している。実験では、ボトルの前方と後方にそれぞれ照明を設置し、その相対的な強度比による半透明感の変化を計測している。その結果、同じボトルでも照明条件によって半透明感の強さが変化すること、またボトル表面上の拡散反射成分のRMSコントラストが半透明感の強さと比較的良好に相関することを報告している。この結果は、半透明感という普遍的な質感知覚を生み出す画像成分の一端を示しているといえる。

「質感」という言葉が示す知覚認知領域も広がっている。例えば、櫻井、岡嶋²⁾は野菜の鮮度に着目し、視覚探索という古典的な心理物理実験のパラダイムに基づいて、鮮度知覚を担う視覚情報処理過程について検討している。被験者には特定の鮮度の野菜パッチを視覚的に探索してもらい、妨害刺激の数と探索時間との関係を調べたところ、その関係性はおよそ線形になったという結果を報告している。視覚探索においては、探索時に注意を必要としないポップアウトする刺激に対しては、妨害刺激の数と探索時間はほぼ独立の関係となることを考慮すれば、この実験結果は、鮮度知覚には視覚的注意を要する視覚情報処理過程が関わることを示唆している。従来の心理物理実験や認知科学、脳科学における手法が、非常に多種多様な質感認知特性を理解するためのツールとなる可能性を示している結果と捉えることができる。

一見すると複雑そうな質感認知が単純な画像特徴と関連する可能性について西牟田ら³⁾が報告している。肌の質感において、透明感是非常重要的キーワードの1つであるが、肌画像において透明感を与える画像成分は明らかではなかった。西牟田らは肌画像の輝度と色度を人工的に操作した場合に、その操作が知覚的な透明感へ与える影響を心理物理実験により計測した。その結果、平均輝度が高いほど透明感が高くなる一方で、透明感と平均色度の関係性は

^{†1} 北九州市立大学

^{†2} 山形大学

^{†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

"ITE Review 2015 Series (6): Human Information" by Masayuki Sato (The University of Kitakyushu, Fukuoka), Takehiro Nagai (Yamagata University, Yamagata), Kazuho Fukuda (Kogakuin University, Tokyo), Yasuhiro Sawahata (NHK Science & Technology Research Laboratories, Tokyo), Daisuke Ochi (NTT Media Intelligence Laboratories, Kanagawa)

被験者により大きく異なると報告している。この実験では、色度・輝度という極めて単純な画像特徴のみを検討しているが、それでも輝度と透明感の関係性が示唆されていることを考慮すれば、局所的空間周波数成分やその統計量といった比較的シンプルな画像特徴だけでもさまざまな質感認知を捉えられる可能性を示した結果であるといえる。

質感認知に関する研究報告は、本特集のみならず、ヒューマンインフォメーション研究会においても毎年なされるようになってきている。例えば、永井ら⁴⁾は、ヒトの素材カテゴリー認知における応答時間と呈示時間の影響といった時間特性を心理物理実験により測定した結果を報告している。その時間特性を光沢感、ざらざら感などのさまざまな知覚的質感属性との関係性から解析した結果、素材カテゴリー判断における応答時間や刺激呈示時間が短いときには、視覚的な質感属性（光沢感、透明感など）との関係性が強く、応答時間や刺激呈示時間が長いときには、非視覚的な質感属性（ざらざら感、重さ感など）との関係性が強かった。これらの結果は、質感属性によって、高次質感認知との関係性の強さが異なる可能性を示しており、質感認知のための視覚情報処理におけるダイナミクスを反映しているのかもしれない。

これらのヒトの質感認知特性を活かした映像表現への応用例も報告されている。例えば、天野⁵⁾はプロジェクションディスプレイ技術に質感認知研究の知見を応用することによる、見かけの質感操作技術を提案している。具体的には、輝度ヒストグラムの歪みや特定の空間周波数成分のコントラストといった、透明感や光沢感に関わる画像成分をプロジェクションディスプレイ技術に組込んでいる。もちろん物体表面に強いスペキュラーハイライトがある場合など、本提案技術の適用には限界もあるが、質感認知に基づいた画像処理技術に対する可能性を感じさせる提案である。

この脳内処理に関する基礎検討からそれを活かした応用事例まで網羅されはじめている質感研究は、これまでほとんど未開拓であった研究分野であるにも関わらず、その応用可能性が示されつつある状況となっていることから、ヒューマンインフォメーション研究会でも今後ますます研究報告が増加していくと思われる。今後、基礎研究と応用技術の両側面から質感研究分野が発展していくことを期待したい。

2.2 色覚

色覚は、ヒューマンインフォメーション研究会における視覚研究の中でも古くから行われているトピックの一つであり、視覚系におけるさまざまな色覚情報処理レベルを対象として多くの研究報告がなされた。例えば、色覚における極めて根源的なメカニズムに関する検討として、竹下ら⁶⁾は杆体細胞出力が錐体拮抗型メカニズムへ入力されているかどうかを、4原色刺激呈示装置を用いた心理物理実験について報告している。彼らの実験では、さまざまな輝度レ

ベルにおいて色弁別閾値を測定し、輝度が低くなるにつれて錐体出力だけでは説明できない閾値変化が生じた。またその変化は、杆体細胞の刺激量を増やすことで緑色が、杆体細胞の刺激量を減らすことで赤色が知覚できることを示すものであった。杆体は古典的には色知覚へ関与しないと考えられていたが、本報告はその色知覚への寄与を明確に示す結果であるといえる。

佐藤ら⁷⁾は、脳内における色情報表現を明らかにするための心理物理学的逆相関法の結果について報告した。通常の心理物理実験のように興味あるパラメータの影響を検討する順相関法とは異なり、逆相関法ではランダムなノイズを重ねさせた刺激に対し知覚応答を多数取得し、その知覚応答に基づいてランダムノイズを解析することで知覚に関連する刺激成分を明らかにする手法である。佐藤らの実験では、被験者は多色テクスチャ刺激の色コントラストの強さを判断し、逆相関法の手続きに基づいて、被験者応答をもっともよく説明する色表現モデルのパラメータを導出している。結果として、色コントラスト知覚特性を説明するためには、4つのメカニズムから構成される色表現モデルで充分であることが報告されている。知覚応答をうまく説明するための情報表現モデルを導出する実験・解析手法の可能性を示す興味深い報告といえる。

自然画像に関連する高次な色覚情報処理に関する研究報告もあった。福田ら⁸⁾は、物理的には照明環境により物体色が取りうる輝度範囲が制限されてしまうことに着目し、その輝度範囲と知覚的な色の見えのモード（光源色知覚と物体色知覚）の関係性について報告している。さまざまな輝度・色度分布を持つシーンにおいて、物体色モードが成立する臨界輝度（輝度を高くしていった場合に物体色であると知覚できるぎりぎりの輝度）を心理物理実験により計測し物体色の物理的輝度範囲と比較した結果、その結果には有意な相関が見られた。物理的な物体色の輝度範囲を厳密に計算するためには人間が知り得ない照明の分光分布が必要であることを考慮すれば、本研究結果は、人間が視覚世界に存在するヒューリスティクスをうまく活用する1つの例である可能性があり、大変興味深い。

このように色覚情報処理をさまざまな処理レベルの視点から検討することは非常に意義があると考えられる。例えば、一見すると自然画像におけるヒューリスティクスのように高次概念が関連するよう見える知覚現象があったとしても、実は非常に古典的な低次レベルのメカニズムで説明できる可能性を常に念頭においておく必要がある。今後、さまざまな色覚処理のさまざまなレベルに関する研究や、さらにそれらの知見を活かした応用技術の発展に関する報告が活発に行われることを期待したい。（永井）

2.3 奥行き知覚

ヒトは左右眼の2次元網膜像から奥行き方向の位置情報を再構成することにより、奥行きのある3次元空間の情報

を知覚、認識している。奥行き知覚は、当会誌、ヒューマンインフォメーション研究会においても、古くから研究報告の多いトピックの1つであり、奥行き知覚の特性やメカニズムの基礎研究から、立体映像やその他の新しい映像技術における奥行き感に関する研究などが特に多く報告されている。

初めに、運動情報にもとづく奥行き知覚の性質に関する研究を紹介する。玉田ら⁹⁾は、運動視差による奥行き知覚において、頭部運動方向の違いによる効果を検討した。彼らの実験では、左右、上下、複合（前額面内の円状運動）の各方向に運動する頭部運動において運動視差から知覚される奥行きの大きさを比較した結果、頭部運動方向による差が表れなかったことを示している。運動視差による奥行き知覚において頭部運動は根源となる非常に重要な要素である。彼らの研究は、運動視差を利用した3D映像表示システムにおける観察者の頭部運動方向の統制を考える上で非常に重要な知見であろう。

次に、両眼視差（両眼網膜像差）手がかりによる奥行き知覚に関する研究を紹介する。本多ら¹⁰⁾は、両眼網膜像差にもとづく立体映像の飛び出し距離の許容範囲への、立体映像への慣れの効果を検討した。彼らの実験では、両眼視差0～2°の立体映像による20分間ほどの訓練の結果、特に訓練前の飛び出し距離の許容範囲2°以下の被験者においては、訓練による立体映像への慣れにより大幅に許容範囲が拡大することが示された。また、玉田ら¹¹⁾は、複視が生じるような大きな両眼網膜像差に対しても、ターゲットを左右方向に運動させることで静止時と比較して、大きな奥行きが知覚されることを示した。彼らの研究成果は、立体映像における飛び出し距離（両眼網膜像の大きさ）の許容範囲を検討する上で考慮すべき興味深い報告である。

最後に、最近の新しい映像技術における奥行き知覚の研究を紹介する。高解像度映像と奥行き感の関係を調べた研究と、超多眼立体表示に関する研究を紹介する。對馬ら¹²⁾は、スーパーハイビジョン（8K）視聴時に奥行き感が増大するという現象の報告を確かめるため、8K、4K、2K映像視聴時の陰影画像の立体感を単眼観察の条件において比較した。その結果、2K、4K、8Kと高解像度になるほど強い立体感を生じることが示された。この差は、解像度の差異を弁別できない場合にも保たれることから、解像度の違いは無意識レベルの情報処理に影響して、立体感を増大させることが示唆された。また、水科ら¹³⁾は、視点を瞳孔径以下の間隔で高密度に形成した超多眼式ディスプレイを試作し、超多眼立体表示に対する輻輳および調節応答を測定した結果を報告した。研究成果として、超多眼表示では二眼式表示よりも輻輳と調節応答の変化量の差が縮まっており、つまり、より実物体観察時に近い状態での視聴が実現されることが示された。これらの報告は、視聴時の快適性などの課題を解決し、自然な立体感のある映像表示技術を

追求する上でも、興味深い結果を示している。

奥行き知覚は古くからある研究トピックであるが、基礎的なメカニズムについても未解明な部分も多く、当会誌、ヒューマンインフォメーション研究会においても、このように新たな知見が年々報告されている。また、応用の分野についても立体映像の技術などに進展は見られるものの依然として多くの課題がある。今後も、基礎研究から応用技術の研究まで、さまざまな内容についての報告が活発に行われ、奥行き知覚に関する研究が進展することを期待したい。

2.4 視覚的注意と視線検出

視覚的注意は、ヒューマンインフォメーション研究会において近年関連研究が増加している研究分野であり、未だに未解明な部分も多いが、次第にその機能やメカニズムが明らかにされてきている。また、視覚的注意の研究に関連して、人の知覚の状態を推定・予測するための研究も近年盛んになってきている。例えば、眼球運動計測の技術進展や手軽さの向上とともに、視線そのものの検出技術の他に、視線とは独立の注意や意識の方向および範囲、または覚醒度を眼球運動から推定、予測する手法などが報告されている。

初めに、視覚的注意の機能に関する研究から紹介する。視覚的注意はさまざまな視覚次元の感度に影響することが知られているが、桑村ら¹⁴⁾は、視覚的注意が色チャネルと輝度チャネルに及ぼす効果を検討した。彼らの実験では、中心視野に呈示したリング刺激の切り欠け数のカウント課題により注意誘導を行い、周辺視野に呈示した色または輝度変化の検出課題を用いて注意の効果を検討した。その結果、中心視野への注意誘導により周辺視野の色刺激の検出感度は大きく低下したが、輝度刺激への影響は比較的小さかった。また、中心視野と周辺視野で色と輝度、別々の課題を同時に行うと、中心・周辺とも色もしくは輝度の場合よりも感度が大きく低下した。これらの結果は、色と輝度への視覚的注意の効果の違い、および、色と輝度の双方に同時に注意を向けることが困難であることを示す結果であり、視覚的注意の機能およびメカニズムを検討するうえで非常に重要な知見となる。

次に、視覚的注意や意識の状態を推定する手法の研究を紹介する。本田ら¹⁵⁾は、覚醒水準変動の客観的かつ定量的な評価手法を確立することを目的として、覚醒維持が限界に達した際に現れるSlow Eye Movement (SEM)に先立ち生じるマイクロサッカードの頻度増加と持続的な縮瞳傾向の解析を行った。彼らの研究では、実験参加者に注視指標を最大40分間にわたり注視し続けるという課題を与え、マウスクリックによる主観的な入眠判定のタイミングと、固視微動の計測結果との関係を示した。その結果、SEM発生直前の2分間にマイクロサッカード頻度の上昇と、眼振様眼球運動が繰り返し発生することが明らかになり、眼振様眼球運動を用いることで、より正確に覚醒水準の低下を予想できる可能性が示された。覚醒水準を非接触の方法で測

定する技術に関する彼らの報告は、安全な社会への貢献を考えると非常に重要な意味を持つ成果といえる。

最後に、視線検出技術の進展を報告した研究を一例紹介する。吉岡ら¹⁶⁾は、眼鏡着用時の視線方向検出技術として、眼鏡レンズへの周辺物の映り込みが発生した状態でも適用可能な手法を提案し、その効果を検証した。彼らの研究では、片眼のみ瞳孔検出可能であった画像を用いて事前に蓄積したデータ（瞳孔と瞳孔外の輝度のデータ303組）を用いて瞳孔の画素を抽出することで、映り込み発生時にも89.7%の瞳孔検出率を実現できた（実験参加者5人）。眼球運動を被計測者の観察条件（この場合、眼鏡の着用）によらず計測できることは、さまざまな場面、ユーザに対する視線検出とそれを利用したアプリケーションなどへの応用が期待される。

視覚的注意は、視覚研究の各誌において多数の報告が行われているトピックであるが、ヒューマンインフォメーション研究会においても、毎年新たな研究成果が活発に報告されている。また意識の状態推定や視線予測などは、安全やマーケティングなどさまざまな方面から応用の期待されている分野でもある。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

映像システム開発は、人間の視覚や聴覚の特性を最大限に考慮しながら行われる点が大きな特徴である。映像システムは、その時々技術的・経済的な制約のもとで、人間の特性に対する最適化が図られ発展してきた。技術の進歩によりその制約条件が緩和されれば、人間の視聴覚機能の限界に迫るまで、映像システムの高品位化が続くことは自然な流れであるといえるだろう。

2016年に放送衛星を用いた8Kスーパーハイビジョン試験放送の開始を控え、ディスプレイの高精細化、高フレームレート化、広色域化といった高品位映像システムの特徴が、人間に与える効果・影響について、多くの研究が進められている。また、最近の新しい傾向として、主に広視野角の視聴環境によって生じる視聴行動に関する研究が増えつつあることが挙げられる。ここでは、映像システムの高品位化の効果・課題、そしてそれらの映像システムに対する観視者の行動を調べた最近の研究について概観する。

3.1 高精細化

映像システムの高精細化は、臨場感に関連するといわれる広視野映像呈示¹⁷⁾を行う上で重要である。広視野かつ画素構造が知覚できないという条件を設定すると、高精細な映像呈示は不可欠である。2K (1920 × 1080)、4K (3840 × 2160)、8K (7680 × 4320)の解像度を持つ映像システムは、それぞれ想定する視聴距離（設計視距離）が異なり、観視者

がディスプレイ面からそれぞれ3H（画面高の3倍）、1.5H、0.75H離れたところから見ることを想定して設計されている。これらは、それだけの視距離を設定すれば、視力1.0の人がディスプレイの画素構造を知覚できないという考えに基づく。

それでは、想定されている視距離と異なる条件で高精細映像を見た場合は、どのような効果があるだろうか。以下に、臨場感以外の高精細映像の効果を報告する研究について紹介する。

日下ら¹⁸⁾は、4Kディスプレイを3Hの視距離で見た時の、呈示画像から受ける印象を、SD法を用いて調べた。その結果、表示解像度と相関の高い精細感という因子が抽出され、解像度が主観的印象に影響することを報告している。本研究の結果は、設計視距離よりも遠い視距離で映像を視聴した場合でも、高精細表示の効果が充分にあることを示している。

ディスプレイの高精細化に伴い、2次元の表示画像から奥行きや立体感を感じるという声が多く聞かれるという。この理由を探るために、Tsushima¹⁹⁾らは、輝度によるグラデーション表現が付与された矩形画像から受ける奥行き感と視野角あたりの空間解像度との関係を調べた。その結果、空間解像度そのものの増加は知覚しにくい状況であっても、8Kディスプレイを3Hで見たときに相当する空間解像度（120 cpd）を超えるまで奥行き感は漸的に増加することを示した。どのように呈示画像を見るかという人間の主観的な“構え”が、主観的印象を左右するという点、ディスプレイの高精細化が陰影表現の精緻化に寄与することで奥行き感向上につながる点が示唆された。

高比良ら²⁰⁾は、風景画像を4Kディスプレイで呈示し、1.5Hの視距離で視聴した時の眼球運動（輻輳・調節応答）を調べた。2K、1K相当にダウンサンプルした画像を表示させた場合の眼球運動とを比較したところ、画像の解像度の高さに応じて、特に輻輳眼球運動が正確になる（ディスプレイ面上に近づく）傾向を示した。さらに、ディスプレイ面近辺で変動する輻輳眼球運動は、画像注視中に連続評価した「奥行き感（飛び出し感）」と相関があることが示された。映像システムの高品位化によって、従来は見逃されていたような眼球運動と主観の状態との関係が導かれたことは興味深い。

3.2 高フレームレート化

動画の高フレームレート表示と視距離との関係を調べるために、Emotoら²¹⁾は、1.5H、3H、6Hの視距離でそれぞれ60、120、240 fpsで動画質の主観評価を行った。フレームレートが高い方が主観評価値は高まることが観測され、この効果が視距離によらないことが示された。この結果は、静止画の画質評価の場合では視距離によって主観評価値が変化するという、従来研究で示されている結果²²⁾とは異なる結果である。ゆえに、フレームレートによる画質

改善効果は、視覚特性由来ではなく、表示の際の動きばけが小さいこと、すなわち表示デバイスの特性に由来するものであるとしている。

3.3 広色域化

UHDTVに移行することで従来よりも広い色域を扱うことが可能となるが、ディスプレイ開発者や色を扱う技術者は、色再現にこれまで以上に注意する必要があるだろう。ある環境光条件下では別の色に見える物体が、別の環境光条件では同色に見える現象であるメタメリズムが知られている。このメタメリズムの不一致は、環境光の違いだけでなく、それを見る個人差によっても生じることが知られている。すなわち、ある二人の評定者には同色に見える物体があっても、別の二人には同色に見えないという現象がある。天野ら²³⁾は、UHDTVのような広色域条件下では、評定者に起因するメタメリズムの不一致が生じやすくなることを報告し、ディスプレイ開発においては評定者間の個人差の考慮の必要性を述べている。

また、UHDTV向けに撮影された映像をHDTVで視聴する際には、色域変換が必須となる。広色域から狭色域への変換では、色数の減少があっても色知覚に大きな差異が生じないことが望ましい。岩崎ら^{24) 25)}は、UHDTVからHDTVの色域に変換する際、色相を保ちながら変換する一般的な手法では、理論と実際に知覚される色相に不一致が生じることを報告し、その不一致を低減するような補正方式を提案している。

3.4 高品位映像システムにおける視聴行動

Emotoら²⁶⁾は、高精細ディスプレイを見る際の好ましい視距離を調べることで、高精細表示の効果を調べた。同一のコンテンツを2Kおよび4K環境で表示し、評定者に自由な視距離で視聴してもらうように教示したところ、4Kの方がより短い視距離が好まれることを示した。ディスプレイの高精細化の効果の1つとして、画面の近くに視聴者をより近づけられることがあるといえる。

望月ら²⁷⁾は、広視野角（視距離：1.5 H, 0.75 H）で映像を視聴した際の、視線方向と頭部運動を計測したところ、視野角によらず画面内の注視位置は変化がないが、視野角が広がるにつれて頭部運動が大きくなることを報告している。また、Fangら²⁸⁾は、8Kディスプレイを広視野角（視距離：1 H, 0.5 H）で視聴したときの、視線と頭部運動を測定したところ、視線方向と頭部方向には類似した傾向がみられることから、頭部方向のみから映像内容に応じた視聴行動がある程度把握可能であることを報告している。

以上のように、映像システムの高品位化の効果の1つとして、従来以上にディスプレイに接近して視聴するスタイルが想定できることが報告されている。しかしながら、すべての映像コンテンツで接近して視聴するかというと、必ずしもそうではないことは容易に想像がつく。頭部運動が必要となることで煩わしさを感じることもあるだろうし、

映像の内容によっては俯瞰してみたいと思うこともあるだろう。先に紹介した、高精細ディスプレイを観る際の好ましい視距離を調べた研究²⁶⁾では、浮世絵をテーマとした映像を評価用コンテンツとして取り上げており、それらはズームなどのカメラワークがなく、浮世絵を現物に近いサイズで表示したものであるという特徴がある。特徴の異なる評価用コンテンツを用いた場合は、また異なる視聴行動が観測されただろう。映像システムと人間の特性を調べる際のコンテンツ依存性を検討した研究²⁹⁾もあるように、今後はコンテンツの種類や作り方といった特徴に踏み込んだ評価がより重要となるであろう。

また、テレビ視聴形態は多様化しており、大画面ディスプレイだけでなく、スマートフォンやタブレット端末による視聴も今後一層増えることが想定され、そのような状況で映像の受容がどう変わるのかは興味深い。例えば、据置型の大型4KディスプレイとA3サイズの4Kタブレットによる映像視聴の生理・心理状態の影響を調べる試み³⁰⁾などがある。従来とは異なる環境での映像視聴の効果・影響を調べる研究は、より一層重要度を増していくこととなるだろう。

（澤島）

4. 映像機器インタフェース

マルチメディアの国際会議「ACM Multimedia 2015」において、Immersive Media Experienceに関するワークショップが3年連続で開催されることに裏付けられるように、近年、没入感や臨場感といったキーワードに関する取り組みが注目を集めている。中でも、ユーザの視界を広視野に覆い、あたかもその場にいるような没入感を味わうことのできるヘッドマウントディスプレイ（HMD: Head Mounted Display）を用いた研究やサービスがここ数年で急速に広がっている。本節では、HMDに関連する技術やサービスについて述べる。

4.1 HMDの動向

HMDとは、筐体内にディスプレイと装着者の頭部の動きをセンシングするセンサを持つデバイスで、ユーザが頭部に装着することで、向いた方向に応じた画像・映像を提示することができ、あたかもその場にいるような感覚を味わうことができるものである。古くは1968年にIvan Sutherland³¹⁾によって開発され、以後もさまざまな改良がなされてきた。中でも2013年にその初期型がリリースされたOculus VR社のOculus Riftは、製品化前の開発キットという状態にもかかわらず、ユーザの頭部回転と表示する映像の追従性の良さで瞬く間にゲームやバーチャルリアリティ（VR）業界に広まった。

その後もOculus Riftに続く形で各社から同様のデバイスがリリースされている。装着中のユーザの視線を計測できるタイプ³²⁾、表示部分がシースルーで実世界に表示を重畳できるタイプ³³⁾、組み立て式のダンボール枠にスマートフ

オンを差し込むだけで簡易HMDにできるタイプ³⁴⁾など、多種多様なHMDが市場を賑わせており、一般のユーザでも手軽に没入感を体験できる環境が整いつつある。

4.2 HMD向けコンテンツ

HMDが注目を集める別の理由の1つに、HMDで視聴するコンテンツや視聴アプリケーションを制作する環境の整備も挙げられる。HMD向けインタラクティブコンテンツが開発可能なUnityなどのゲーム開発エンジンの充実もさることながら、HMDを通して視聴することで高い没入感が得られる全天球映像を容易に撮影できる全天球カメラの登場は、昨今のHMDの流行を後押ししているといえる。

全天球カメラとは、複数のカメラまたは湾曲したミラーや魚眼レンズを使い、カメラが置かれた位置から見た全周囲の映像を撮影するもので、カメラが1～2台付いた小型なもの³⁵⁾から、アクションカムを4～6台以上利用するもの³⁶⁾まで、数多く存在する。撮影された映像をHMDで見ると、あたかもカメラが置かれた位置に立って周りを見渡しているかのような高い没入感を得ることができるため、HMDとも親和性が高く、昨今では多くの研究者^{37) 38)}やクリエータ³⁹⁾が活用している。

4.3 HMDでの全天球映像視聴における課題

一方で全天球映像の普及を阻む課題も多い。中でも、HMD視聴時の画質の確保は、ユーザの体感品質に直接影響を及ぼす重要な課題の1つである。広範囲に撮影された全天球映像は、通常よりも画素数が多く、場合によっては8K以上の画素を持つことも少なくない。そのため、映像を元の品質のままHMDで視聴したい場合、ユーザは非常に大きいサイズの全天球映像をダウンロードし、それを再生できるだけの高スペックなハードウェアを用意しなければならない。現行の一般的なサービスでは、汎用的なPCやスマートフォンでの視聴を優先し、全天球映像のサイズを制限し、画質を落として映像を提供することが多い。

この課題に対し、Ochi⁴⁰⁾は、オリジナルの解像度の映像を複数のタイル状領域に区切って、個々にエンコードした映像群をあらかじめ用意し、HMDでセンシングされるユーザの視聴方向に応じて、その部分に対応するオリジナル映像の品質を持ったタイル映像を配信する方式を提案した。これにより、ユーザがどこを向いてもオリジナルの解像度で映像を楽しむことができる上、クライアントは全天球映像の全体ではなく、その一部分を受信/デコードすれば良いため、低スペックなスマートフォンなどでも十分に全天球映像を楽しむことが可能となった。この方式を用いたライブ配信も実現され⁴¹⁾、一定数の視聴者を得ている実績からも、課題解決策として有用であると考えられる。

4.4 今後の展望

HMDや全天球映像は、VR分野において長年の夢ともいえる「あたかもその場にいるような没入感・臨場感の再現」を実現するための要素技術の1つであるといえる。今後さ

まざまな周辺技術やアプリケーションが研究開発され、没入感・臨場感がさらに高まることを期待したい。また、ここでは詳細に言及していない個々の要素技術に残る課題(HMD表示画像のリフレッシュレート向上、カメラ撮影画像のスティッチング高速化等)の解決についても今後の研究開発に期待したい。

(越智)

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の進展をまとめた。

新しい映像技術を確立する上で、視聴者の視点で技術を正しく評価することが重要であることは論を待たないが、視聴者すなわち人間の側の感覚・知覚・認知メカニズムに関する基礎的な研究もまた重要である。わが国の高齢化が今後さらに進むことは必至である。高齢者を含む人間の知覚特性の多様性に対する理解がますます重要になる。(佐藤)

(2015年7月31日受付)

〔文 献〕

- 1) 竹下 祐, 岡嶋克典, 辻村誠一: “杆体細胞の錐体拮抗型色メカニズムに対する影響”, 映情学技報, 38, 46, 5-7 (2014)
- 2) 佐藤智治, 永井岳大, 中内茂樹: “色覚メカニズムモデルに基づく色コントラスト知覚特性の逆相関解析”, 映情学技報, 37, 55, 13-16 (2013)
- 3) 福田一帆, 沼田 藍, 内川恵二: “物理的な物体色境界輝度と色の見えのモード変化の臨界輝度の関係”, 映情学技報, 38, 10, 49-52 (2014)
- 4) 谿 雄祐, 西島 遼, 永井岳大, 鯉田孝和, 北崎充晃, 中内茂樹: “前方・後方照明強度比による透明感知覚の変化”, 映情学誌, 68, 12, J534-J536 (2014)
- 5) 櫻井勇介, 岡嶋克典: “視覚探索による生鮮野菜の鮮度知覚特性の検討”, 映情学誌, 68, 12, J540-J542 (2014)
- 6) 西牟田大, 五十嵐崇訓, 岡嶋克典: “肌の透明感における輝度と色の影響”, 映情学誌, 68, 12, J543-J545 (2014)
- 7) 永井岳大, 松島俊樹, 鯉田孝和, 谿 雄祐, 北崎充晃, 中内茂樹: “素材カテゴリー認知の時間特性－質感属性との関係に着目して－”, 映情学技報, 38, 46, 13-16 (2014)
- 8) 天野敏之: “プロジェクタカメラ系を用いた光沢感と透明感の実時間操作”, 映情学誌, 68, 12, J528-J533 (2014)
- 9) 玉田靖明, 貞莉拓登, 岩崎晴史, 佐藤雅之: “運動視差による奥行き知覚における頭部運動方向, 視差変調方向, 空間周波数の効果”, 映情学技報, 38, 46, 33-36 (2014)
- 10) 本多悠真, 芳川毅也, 森田一三, 金子 央, 吉川一輝, 杉浦明弘, 木下史也, 采女智津江, 山川達也, 小島健人, 宮尾 克: “立体映像への慣れによる最大飛び出し認知への効果”, 映情学技報, 38, 46, 37-40 (2014)
- 11) 玉田靖明, 伊東文博, 須長正治, 佐藤雅之: “大きな両眼網膜像差による奥行きの知覚における刺激の運動と変位の効果”, 映情学誌, 67, 12, J479-J484 (2013)
- 12) 野馬淑亮, 小峯一晃, 澤島康仁, 森田寿哉, 比留間伸行: “陰影画像の表示解像度と立体感の関係”, 映情学技報, 38, 40, 13-16 (2014)
- 13) 水科晴樹, 根岸一平, 安藤広志, 正木信夫: “超多眼立体表示に対する調節・輻輳応答”, 映情学誌, 67, 12, J475-J478 (2013)
- 14) 桑村敬子, 佐藤雅之, 内川恵二: “視覚的注意が色・輝度チャンネルに及ぼす効果”, 映情学技報, 37, 55, 29-32 (2013)
- 15) 本田彰吾, 小濱 剛, 吉田 久: “固視微動と瞳孔径変動解析に基づく覚醒水準の客観的評価”, 映情学技報, 39, 11, 25-28 (2015)

- 16) 吉岡隆宏, 中島 哲, 小田切淳一, 富森英樹, 福井 琢: “眼鏡着用時における環境条件にロバストな瞳孔検出”, 映像学技報, 38, 10, 37-39 (2014)
- 17) T. Hatada, H. Sakata and H. Kusaka: "Psychophysical Analysis of the 'Sensation of Reality' Induced by a Visual Wide-Field Display", SMPTE Motion Imaging J., 89, 8, pp.560-569 (1980)
- 18) 日下雄人, 林亮輔, 堀田裕弘: “画素解像度の違いが主観的印象に与える影響の検証”, 信学技報, IMQ2013-71, pp.233-238 (2014)
- 19) Y. Tsushima, K. Komine, Y. Sawahata and N. Hiruma: "Higher resolution stimulus facilitates depth perception: MT+ plays a significant role in monocular depth perception", Sci. Rep., 4, 6687 (2014)
- 20) 高比良英朗, 横山優樹, 望月信哉, 山田光穂: “4K画像注視時の輻輳眼球運動と調節の解析”, 信学技報, IMQ2014-10, pp.19-24 (2014)
- 21) M. Emoto, Y. Kusakabe and M. Sugawara: "High-Frame-Rate Motion Picture Quality and Its Independence of Viewing Distance", J. Disp. Technol., 10, 8, pp.635-641 (2014)
- 22) J.H.D.M. Westerink and J.A.J. Roufs: "Subjective Image Quality as a Function of Viewing Distance, Resolution and Picture Size", SMPTE Motion Imaging J., 98, 2, pp.113-119 (1989)
- 23) 天野雄介, 大橋剛介, 下平美文: “メタメリズムインデックスを用いた広色域ディスプレイの評価”, 信学技報, IMQ2013-23, pp.33-37 (2013)
- 24) 岩崎有希子, 正岡顕一郎, 日下部裕一, 西田幸博: “UHD TV色域の等色相主観評価”, 信学技報, IMQ2014-7, pp.1-5 (2014)
- 25) 岩崎有希子, 西田幸博: “UHD TV広色域表色系におけるシアン色自然画像を用いた等色相特性の主観評価”, 信学技報, IMQ2014-22, pp.33-38 (2014)
- 26) M. Emoto and M. Sugawara: "Still Images of High Spatial Resolution Enable Short TV Viewing Distances", ITE Trans. Media Technol. Appl., 2, 2, pp.185-191 (2014)
- 27) 望月信哉, 三浦彩音, 高比良英朗, 山田光穂: “4K画像近距離視聴時の注視位置と頭部方向の分析”, 信学技報, IMQ2014-55, pp.133-136 (2015)
- 28) Y. Fang, M. Emoto, R. Nakashima, K. Matsumiya, I. Kuriki and S. Shioiri: "Eye-Position Distribution Depending on Head Orientation when Observing Movies on Ultrahigh-Definition", ITE Trans. Media Technol. Appl., 3, 2, pp.149-154 (2015)
- 29) 稲積泰宏, 堀田裕弘: “イメージメディアクオリティのコンテンツ依存性に対する基礎検討”, 信学技報, IMQ2013-9, pp.21-24 (2013)
- 30) 阪本清美, 坂下誠司, 山下久仁子, 岡田明: “ディスプレイ解像度とスクリーンタイプがコンテンツ視聴中の生理・心理状態に及ぼす影響”, 信学技報, HCS2015-1, pp.1-6 (2015)
- 31) I.E. Sutherland: "A head-mounted three dimensional display", Proceedings of American Federation of Information Processing Societies, pp.757-764 (1968)
- 32) FOVE, <http://www.getfove.com/>
- 33) Microsoft HoloLens, <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/>
- 34) Google Cardboard, <https://www.google.com/get/cardboard/>
- 35) RICOH THETA, <https://theta360.com/>
- 36) Google JUMP, <https://www.google.com/get/cardboard/jump/>
- 37) 日吉で跳んでみた (高度100 mぐらい), <http://niconicogakkai.tumblr.com/post/80689461611/6-no-18>
- 38) S. Kasahara et al: "First Person Omnidirectional Video: System Design and Implications for Immersive Experience", Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video, pp.33-42 (2015)
- 39) 渡邊課, <http://watanabe-ka.tumblr.com/>
- 40) D. Ochi et al: "HMD Viewing Spherical Video Streaming System", Proceedings of Proceedings of the ACM International Conference on Multimedia, pp.763-764 (2014)
- 41) D. Ochi et al: "Live Streaming System for Omnidirectional Video", Proceedings of IEEE Virtual Reality 2015 (2015)



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博士課程修了。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を経て, 2013年, 山形大学大学院理工学研究科准教授。質感認知, 高次色覚特性に関する研究に従事。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。



澤畠 康仁 2003年, 東京大学大学院新領域創成科学研究科修士課程修了。2003年, NHKに入局し, 以降, 放送技術研究所に所属。2006年~2008年, 情報通信研究機構出向, 2008年~2010年, 国際電気通信基礎技術研究所脳情報研究所出向。2015年, 東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了。脳情報デコーディングの研究, 立体映像の認知特性の研究に従事。博士(情報理工学)。正会員。



越智 大介 2001年, 九州大学工学部卒業。2003年, 九州大学大学院システム情報科学府修士課程修了。同年, 日本電信電話(株)入社。現在, 同社NTTメディアインテリジェンス研究所画像メディアプロジェクト主任研究員。主に映像インタラクション, マルチメディア, パーチャルリアリティに関する研究に従事。