

イマーシブメディアのための 認知科学 **特集号**

巻頭言

快適なイマーシブメディアの実現に向けて

2

東京情報デザイン専門職大学 教授

氏家 弘裕

解説

イマーシブメディアに関わる認知科学研究の動向

4

報告

3D表示が主観的印象を強める効果の画面サイズ依存性

16

適応型奥行き圧縮による3D像の品質改善

26

3次元空間における撮影位置自動選択アルゴリズムの開発

44

研究所の動き

番組編成に応じたイベント駆動型リニア配信システムの開発

54

ホログラフィックディスプレイの視域拡大に向けた高密度MOSLMの開発

55

論文紹介 56

発明と考案 57

学会発表論文一覧 62

研究会・年次大会等発表一覧 64

快適なイマーシブメディアの実現に向けて

氏家 弘裕

東京情報デザイン専門職大学 教授

ヘッドマウントディスプレイ（HMD: Head Mounted Display）が一般に販売され始めたことをきっかけに、バーチャルリアリティ（VR: Virtual Reality）をはじめとして、拡張現実（AR: Augmented Reality）、複合現実（MR: Mixed Reality）などが身近なものとなりつつある。例えばHMDでVRとえば、かつては研究用途向けで一般には入手困難であったが、現在は広視野で高精細かつ時間的応答性の高い製品が容易に入手できる状況となった。NHKでも、2015年からネット上でPCやスマートフォン、タブレットを用いて体験できるVR映像の配信が開始されるとともに、2017年にはBS1スペシャルで放送と同時にスマートフォンやタブレットで体験できる360° VR映像の配信も行われた*1。

このように身近になりつつあるVRであるが、HMDを用いたVR環境の体験では、本来の現実環境を忘れて、あたかもバーチャルに提示された環境の中に本当に自らが存在しているかのような没入性を感じることができる。また、VR環境の中でとりわけ何らかの作業を体験したり歩行したりした後に頭部からHMDを外すと、それまでの周囲の環境や目の前に位置していた物体が見えなくなることで妙な違和感を覚えることがある。私自身の体験として印象深く残っているのは、MR環境で現実空間にバーチャルに配置された機械にネジを取り付ける作業を数分間体験した後、HMDを外して現実環境に戻った際、それまで目の前に存在していた機械が（当たり前だが）消えてしまい、あの機械はいったいどこに行ってしまったのだろうかという不思議な感覚と言葉では言い表しがたい妙な喪失感を覚えたことがある。その一方で、視覚以外の感覚に意識を向けて、体験しているのはVR環境であるということを強く意識すると、没入性が損なわれることもある。これも自身の体験だが、娯楽施設のVRで、建物の高層階から突き出た板の上を2メートルほど歩いて先端にいる動物を救出して戻るといった課題で、そのままでは明らかに高所の恐怖を感じるほどの没入感を感じるコンテンツなのだが、「体験しているのはVRだ」と強く意識することで、没入性が失われ高所による恐怖心が消失した。ただし、ある仕掛けにより予想外の事態が演出されることで、突然バーチャルな環境に意識が引き戻され高所の恐怖を感じるという体験もした。

このように、バーチャルな環境や物体の提示は没入型の、すなわちイマーシブな環境を提示するという点で、従来のいわゆる2Dのディスプレイでの映像提示とは明らかに異なる。このような新たな技術の普及を図るためには、これを利用する人への適合性あるいは親和性をおろそかにすることはできない。従来の2D表示では、現実世界の中に枠で囲まれた“絵”としての映像を提示する形であった。しかし、イマーシブな環境提示では一般的にHMDなどのデバイスを通じて、これを観察する人の周囲にバーチャルな環境を提示し、観察する人を現実とは別の世界に導くものであるともいえる。従って、こうした映像の提示が人に与える影響を明確にすることで、利用する人に対する、より親和性の高い技術に導くことができるし、またこうした提示における映像の撮影や編集のあり方についても、これを視聴あるいは体験する人に快適かつ直感的に理解できる映像に仕上げるのが可能になるであろう。

イマーシブな環境を実現する現状の主な技術的側面として、両眼立体提示と頭部の回転や移動に伴う映像

1986年 東京工業大学工学部機械物理工学科卒業
1991年 東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了、工学博士
1991年 カナダヨーク大学 博士研究員
1995年 工業技術院生命工学工業技術研究所 研究官
2001年 独立行政法人 産業技術総合研究所 企画主幹
2005年 独立行政法人 産業技術総合研究所 研究グループ長
2023年 東京情報デザイン専門職大学 情報デザイン学部 教授
現在に至る

2005年～2015年 CIE TC 1-67 動画と立体画像の人への影響 議長
2006年～2019年 ISO/TC 159/SC 4/WG 2 視覚表示の条件 エキスパート
2010年～現在 ISO/TC 159/SC 4/WG 12 映像の生体安全性 コンビナー
2010年～現在 ISO/TC 159 国内対策委員会 (JENC) 委員
2017年～現在 JENC/SC 4/WG 2+12作業部会 主査
2019年～現在 ISO/TC 159/SC 4/WG 2 視覚表示の条件 コンビナー
2019年～現在 ISO/TC 159/SC 5/WG 7 物理環境におけるダイナミックサイン エキスパート



の切り替えをあげることができる。このうち両眼立体提示について、人間工学的な検討がこれまでに国内外でさまざまに行われてきた。こうした検討により積み上げられた知見について、NHK放送技術研究所でも数多くの重要な報告が行われてきた。また国際標準の観点では、放送系/通信系の分野において、国際電気通信連合 (ITU: International Telecommunication Union) の無線通信部門 (ITU-R) のSG6において放送サービスの観点から立体映像の主観評価法が定められている。またITUの電気通信標準化部門 (ITU-T) のSG9において映像の有線による伝送の観点から立体映像の品質評価法などが議論され、またITU-RとITU-Tとで横断的なグループである映像品質専門家グループ (VQEG: Video Quality Experts Group) でも立体テレビの品質評価法に関する検討が進められてきた。そのほか、私自身の関わってきた国際標準化機構 (ISO: International Organization for Standardization) でも人間工学分野 (ISO/TC 159) において、立体映像による視覚疲労を軽減するための推奨事項をまとめたISO 9241-392を2015年に発行している*2。この中では、立体映像の視覚疲労要因として両眼間でのさまざまな位置ずれや、調節^{ぶくそう}と輻輳の不一致*3などを取り上げているが、前述の数多くの知見が大変参考になっている。一方、頭部の回転や移動に伴う映像の切り替えについては、実際に頭部が動いてから映像の切り替えが完了するまでの時間、いわゆる「時間遅れ」がVR酔いの原因とする考え方から、最近のHMDでもこれをできるだけ減じることが追及されてきた。ただし米国の研究者の報告では、時間遅れ自体よりもその遅れの量の時間変化がVR酔いにつながるとの報告もある。

イマーシブな環境では、これを体験する人との間にさまざまなインタラクションを生じることで、究極的には、実際に体験していることや知覚している周囲が現実であると感じる現実感 (Sense of Presence) が生まれる。また同時に自身の動作によって体験していることが生じているとする行為主体感 (Sense of Agency) や見えている身体を自身の身体の一部であると感じる身体所有感 (Sense of Body Ownership) を得る。こうした特徴のさまざまな性質を明らかにすることで、体験者に快適なイマーシブ環境の提供につなげることができると考えられる。また特に映像配信の観点からは、従来の2D映像でその長い歴史とともに経験的に編み出されてきた撮影や編集の方法では、没入型映像には必ずしも通用しない場合もあり得るであろう。そのため、イマーシブな環境でのより快適で適切な映像撮影方法や編集方法を研究開発していくことが重要であると考えられる。

本特集号では、「イマーシブメディアに関わる認知科学研究の動向」と題して、没入型映像における人間の空間認知などの特性に関する研究の動向が解説されるとともに、3Dシーンの印象や品質などにフォーカスした3つの研究が紹介されている。これらはいずれも人間の空間認知特性に基づくものであり、こうした研究開発が蓄積され進展することで、より深い体験を可能にするイマーシブメディアが快適に利用できるようになることを期待したい。

*1 360° VR映像の配信については、放送研究と調査 2017年8月号のメディアフォーカス “NHKが初めて放送映像と同期した360°動画をネット同時配信「テレビが枠を越えた日」”を参照。https://www.nhk.or.jp/bunken/research/focus/f20170801_4.html
*2 ISO 9241-392: 2015 人間とシステムのインタラクション — 第392部 立体映像による視覚疲労を抑制するための人間工学的要求事項。
*3 ある物体を注視する場合、両眼の注視距離とピント調節の距離とが異なること。

イマーシブメディアに関わる 認知科学研究の動向

原澤賢充

当所では、3DやAR・VR技術を活用したイマーシブメディアの研究開発を進めている。イマーシブメディアは新しい感覚体験を提供するメディアであり、その体験をより効果的で安全なものにするためには、利用者である人間の感覚・知覚・認知特性を理解し、それらに見合う表示装置の開発やコンテンツの制作が必要となる。これらの特性を理解する際には、メディア体験の効能やリスクを評価するための心理測定技術や実験技術、感覚・知覚・認知のメカニズムなどの認知科学の知見が欠かせない。本稿では、イマーシブメディアに関わる認知科学の研究として、没入感の評価、イマーシブメディアの効能、人間工学、表現に着目し、最新の動向について概観する。

1. はじめに

イマーシブメディアに関わる認知科学について解説するにあたり、まずはイマーシブメディアとはどういうものなのかを考えたい。「イマーシブ (immersive)」という語には「没入感がある」「没入できる」などの訳語が当てられていることが多く、イマーシブメディアとはすなわち没入感を生じさせるメディアであるということができる。

イマーシブメディアの正確な定義は文書によって差異はあるが、Kaplan-RakowskiとMesebergによると、バーチャルリアリティー (VR:Virtual Reality)、拡張現実 (AR:Augmented Reality)、複合現実 (MR: Mixed Reality) を合わせた新しい概念であるとして示されている¹⁾。また、シンガポール情報通信メディア開発庁 (IMDA: Information Communications Media Development Authority) は、VRやARなどの技術を指すとしている²⁾。また、XR^{*1}の総合情報サイトであるXR Todayでは、イマーシブメディアとは人のある環境の体験に没入させる能力から名づけられたとし、その構成要素としてVR、AR、MRと3次元 (3D) コンテンツを挙げている³⁾。このようにいくらかのばらつきはあるものの、構成要素についてのおよその共通理解はあるように見受けられる。

では、「没入感」「没入体験」とはどのような感覚なのだろうか。これと類似した概念として「臨場感」という語がよく用いられる。館らは「実際その場に身をおいているような感覚を『臨場感』と呼んでいる」と述べるとともに、「『存在感』という感覚も存在する。『存在感』は、人や物が確かな存在であると感じる感覚のことである。」とも述べ、これらの語を定義している⁴⁾。一方、寺本らは、研究者や開発者ではない一般の人々の感覚として「臨場感」という語に対してどのようなイメージを持っているのかを明らかにする調査を実施し、「臨場感」がある状態とは、視聴覚メディア・体感メディアを通じて「楽しく」「迫力」「動感」があるコンテンツが提供され、「その場で実際に体

*1
XR: Extended RealityまたはCross Realityの略称。現実の物理空間と仮想空間を融合させて、新たな体験を作り出す技術の総称。

験しているような感じ」を受ける心的状態であることを示した⁵⁾。ここで示された「その場で実際に体験しているような感じ」は、まさに「没入」という言葉に対応するものであると言える。また、GrassiniとLaumannは、「そこにいる／存在している (being there)」感覚を表す語としての「presence」を測定する方法を提案する多数の研究を概観し、多くの研究で「immersion」と「presence」が実質的に同義語として用いられていることを示している⁶⁾。

本稿では、没入感を生じさせるイマーシブメディアに関わる認知科学に関連する研究として、没入感の評価手法、イマーシブメディアによる没入感向上の効能、人間工学的な観点からの課題とその解決に向けた取り組み、およびイマーシブメディア特有の表現手法について、それぞれ研究事例を紹介しながら解説する。

2. 没入感の評価

没入感やそれに類する感覚を表現する語は日本語・英語を問わず複数存在しているが、その定義は必ずしも一定していない。しかし、多くの人の同意を得られる共通した感覚は確かに存在しており⁵⁾、そのためこれら個別の用語はその状況に応じて定義される必要がある。特に、これらの感覚の強度を測定しようと思った場合には、その手法は厳密に定義され、その妥当性も慎重に評価される必要がある。

そのような前提に基づき、イマーシブメディアが「没入体験」を提供できていることを示すにはどのようにすればよいだろうか？ もっとも典型的な方法は質問紙によるもの、つまりユーザーに感想を聞くことである。このような方法は多数提案されている⁷⁾⁸⁾*2が、現在のところ最も普及しているのはWitmerとSingerによる質問紙⁹⁾である。彼らは「presence」を「ある場所や環境にいるという主観的な体験」と定義し、これを測定する質問紙法を提案した。彼らは、PQ (Presence Questionnaire) とITQ (Immersive Tendency Questionnaire) という2つの値を測定する方法を考案した。PQはVR環境で個人がどれだけpresenceを感じ、その感覚にどのような要因が寄与しているかを測るためのものであり、ITQはある個人にどれだけ没頭 (involvement) あるいは没入 (immersion) する能力や傾向があるのかを測るためのものである。PQは32、ITQは29項目の7段階の尺度から構成されている。PQは、のちに元の質問項目が再構成された新版が発表されたが¹⁰⁾、現在に至ってもなお1998年に発表された版⁹⁾の方が多く利用されている。Google Scholar^{*3}による計数 (2023年10月時点) で7,500回以上引用されており、彼らによるPQは没入感の主観評価の実質的な標準として認識されている。

また、シンプルに「没入感を感じていますか？」あるいは「そこにいる気分がしますか？」など、質問を1つだけ課し、1～7あるいは0～10などの数値で回答させる形式の研究 (たとえばHoffmanら¹¹⁾) も多数行われている。

このような質問紙による主観報告法は、実験参加者の内観に依存しているため、さまざまなバイアスの影響が含まれてしまう。そのため、これに代わる方法として、脳波や皮膚電位反応などの生理学的応答を計測する研究も多く行われている。しかし、これらの生理学的応答と主観的報告の関係は必ずしも一定ではなく⁶⁾、現在のところ没入感やそれに類する感覚に関連した生理学的応答として標準的とされるものは存在していない。

*2
たとえばSlaterらによるSlater-Usuh-Steed Questionnaire⁷⁾、SchubertらによるGroup Presence Questionnaire⁸⁾が提案されている。

*3
<https://scholar.google.co.jp/schhp?hl=ja>

3. イマーシブメディアの効能

それでは、没入感が向上することでどのような利点があるのだろうか。StevensとKincaidはVR環境での訓練と実世界での作業成績の関係においてpresence（ある場所や環境にいるという主観的な感覚）の強度が及ぼす影響について調べたところ、presenceが高いほど訓練の効果が大きくなることを示した¹²⁾。このようなpresenceが訓練に与えるポジティブな効果については他の研究でも見られている¹³⁾¹⁴⁾。しかし、これも常に成り立つわけではなく（たとえばPersky¹⁵⁾）、知見の解釈には注意が必要である。また、presenceが高くなると同時に映像酔いや不快感が上昇してしまうこともあり¹⁶⁾¹⁷⁾、没入感の上昇が常にポジティブな効果に結びついていない。

一方、本稿冒頭でイマーシブメディアを構成する要素の1つとして3Dコンテンツが挙げられていると述べたが、映像に両眼視差を導入して3次元化することによって知覚・認知あるいはそれをもとにした作業に効果が得られると言われている。McIntireらによる両眼立体視の効能についてのレビュー論文¹⁸⁾*4によると、多くの研究で安定した効果が認められているのは、「物体の空間的な操作」と「空間の理解・想起・記憶」の2つの分野である。空間的な位置や距離の判断、物体の検出や同定、運転などのナビゲーションの分野においては、はっきりとした両眼立体視の有効性は必ずしも認められていない。

「物体の空間的な操作」については、実世界においても両眼視では単眼視よりも物体へのリーチング*5や把持^{はじ}、操作の向上が見られる^{19)~21)}が、映像の表示における両眼視差の有無を操作した場合においてもやはり同様の結果知見が見出されており^{22)~25)}、その効果は頑健であると言える。

「空間の理解・想起・記憶」については、複雑な形状の理解や3次元的空间関係の判断に両眼立体視が寄与することを複数の研究が示している^{26)~29)}。しかし、このような両眼立体視による効果は必ずしも常に生じるわけではなく、他の奥行き手がかりなど両眼視差以外の情報が十分に利用可能でないときに効果が顕著であることが示されている³⁰⁾³¹⁾。

また、映像の3次元化は印象の変化に寄与することも報告されている。Miyashitaらは映像に両眼視差だけでなく観察者の頭部運動に連動した運動視差を付与した場合の印象の変化について調べ、画面の大きさによってその効果が変わることを見出した³²⁾（詳細は報告1を参照）。

ところで、人間がどれだけ3次元構造を理解・操作できるのかを調べるときに心的回転（mental rotation）³³⁾という課題がよく用いられる。たとえば1つの3次元構造物がある方向から見た画像と別の方向から見た画像を見比べて、それらが同じ物体を表したものかを判断する課題などがこれに該当する。このとき心の中で3次元構造を回転させるような操作が心の中で行われていると考えると多くの現象が説明しやすいため、心的回転という名称が与えられている。この課題は不慣れな人にはかなり難しく、練習の効果が見られやすいため、3次元的な心的操作の訓練や学習の題材としてよく用いられている³⁴⁾。PiriとCagiltayは、心的回転課題の訓練に3次元映像を使うことでどのような効能が得られるのかについて、51本の論文を概観してレビュー論文にまとめた³⁵⁾。それによると、学習の効果は2次元映像よりも3次元映像やHMDなどによるAR/VR映像の方が大きいこと、没入感が高いほど学習効果が大きいこと、空間的能力が低い参加者

*4
特定のテーマに関する研究論文や文献の概要や評価をまとめたもの。

*5
目の前のものを触ろうとする場合などに生じる特定の位置に手を延ばす動作。

で3次元化による学習促進が大きいことなどが示された。

以上のように、両眼立体視映像をはじめとするイマーシブコンテンツによって、映像の知覚や認知に変化が生じるだけでなく、動作や作業の成績向上、また3次元構造の認知的操作の学習の向上が見られることは、このような映像表現の有用性を裏付けるものと言える。

4. イマーシブメディアの人間工学

イマーシブメディアを表示するための代表的な装置の1つである立体ディスプレイは、もっとも初期のステレオスコープ*6であるWheatstoneによる反射式実体鏡 (mirror stereoscope)³⁶⁾以降、さまざまな装置が開発されている。立体ディスプレイは、通常のディスプレイでは再現できない両眼視差を表現できるものとして、より自然に近い視環境を提供することを目指しているが、必ずしも裸眼による自然な観察と完全に同一の視環境を再現できているわけではない。そのため、立体ディスプレイでの観察に起因する不快感や疲労が存在することは否定できない。Lamboojらは、立体ディスプレイによる視覚的不快感や視覚的疲労に関する近年の論文を概観している³⁷⁾。彼らは、視覚的不快感を引き起こす可能性のある主な問題として、人間の眼運動機能である調節*7と輻輳*8の間の矛盾³⁸⁾³⁹⁾、過度の両眼視差⁴⁰⁾を挙げている。

輻輳と調節は自然視の環境では反射的に連動しているが、立体ディスプレイを観察するときはこの連動が損なわれてしまう。なぜなら、映像の表示面と眼球からの距離は、個々の刺激の輻輳角に依らず常に一定となるからである。このような輻輳と調節の間の分断は、しばしば視覚的疲労の原因となる⁴¹⁾。また、両眼視差が大きすぎると両眼の像を融合できなくなるため二重像が見えるようになる⁴²⁾。その結果、視覚的疲労が生じることになる⁴³⁾が、そのような現象が生じる両眼視差の閾値^{いき}は刺激の運動成分や周囲の刺激との関係などさまざまな条件によって変化することが知られている⁴⁴⁾。

現時点でもっとも先進的な立体ディスプレイの1つが空間像再生型と呼ばれる方式のうちの1つであるライトフィールド・ディスプレイ (Light Field Display) である⁴⁵⁾。ライトフィールド・ディスプレイは、上で記した視覚的疲労や不快感につながる要因のうち輻輳と調節の間の矛盾が解消されており、少なくとも一部の視覚的不快感の軽減を見込むことができる。

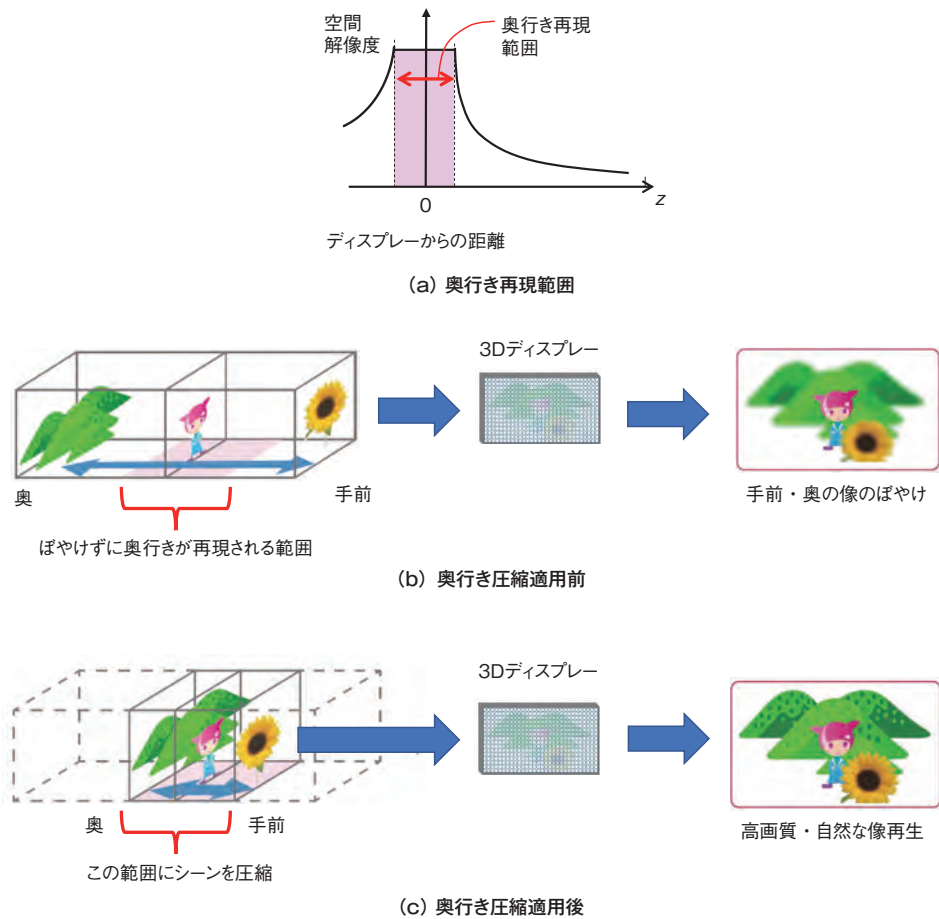
イマーシブメディアを表示するためのもう1つの代表的な装置として、頭部搭載型の表示装置であるヘッドマウントディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) が挙げられる。HMDにおいても、立体ディスプレイと同様にあるいはそれ以上に視覚的疲労や視覚的不快感が生じることが知られている⁴⁶⁾。HMDにライトフィールド・ディスプレイを用いることで、輻輳と調節の間の矛盾を軽減しようとする試みがあるが⁴⁷⁾、HMDの最大の特徴の1つは、使用者の頭部運動と同期して描画領域を更新する機能であり、この機能が十分な性能を発揮していない場合には特に映像酔いもしくはcybersickness*9が発生しやすくなる⁴⁸⁾⁴⁹⁾。Stanneyら⁴⁹⁾によると、現代の一般的なHMDにおいても少なくとも使用者の3分の1が不快感を経験しており、5%が深刻な症状を呈している。このような現象が生じる要因は、使用者の特性から、ハードウェアの問題、ソフトウェアの問題まで多岐にわたっており⁴⁶⁾、近年の性能の向上でかつてより視覚的疲労や視覚的不快感が軽減されたHMDもあるものの⁵⁰⁾、根本的な解決には

*6
両眼視差のある2枚の絵を表示することで、疑似的に立体視を体験できる立体鏡 (stereoscope)。

*7
対象までの距離に応じて眼球の水晶体はその厚みを変えて焦点を調節すること。

*8
両方の眼で対象を見つめたときに、左右の眼の視線間の角度が変化すること。

*9
VRやARなどの没入環境で生じる運動酔いのような症状のこと。日本語の定訳はない。VR環境で生じたcybersicknessはVR酔いとも呼ばれる。



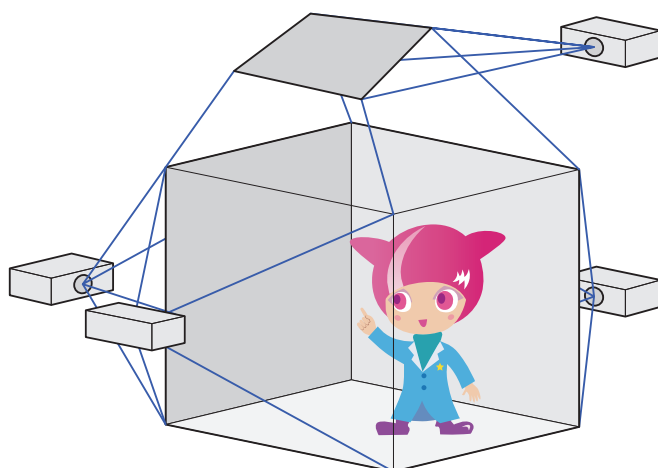
1図 奥行き圧縮技術による表現可能な奥行きの範囲の拡張

至っていない。

5. イマーシブメディアの表現

イマーシブメディアを表示する装置は据え置き型や携帯型のディスプレイあるいは立体テレビなどそれまでの一般的な表示装置と異なった特徴を持っていることが多い。たとえば、観察者を取り囲むように装置を配置したり、あるいは観察者の頭部の向きや位置に連動して表示を更新するなどの機能を備えたりしている。そのような特徴により得られる知覚体験は大きく異なるものとなる。そして、それがゆえに、イマーシブメディアの表示装置には、それにふさわしい表現あるいは機能を十分に発揮できる表現を考慮する必要がある。

前節で輻輳と調節の矛盾を解消する手段の1つとしてライトフィールド・ディスプレイを紹介したが、この技術はそれ以外にも、特別なメガネを必要としないことや、水平方向以外の視差も表現することができるためディスプレイと顔の相対的角度が変化しても奥行きを表現できることなどの利点を持っている⁴⁵⁾。しかし、映像として再現可能な奥行きの範囲（1図 (a)）に制限があり、その範囲を超えて奥や手前の領域は極端にボケてしまうという性質（1図 (b)）がある。そのため必ずしもどんな情景でもそのまま再現できるわけではない。SawahataとMoritaは、限られた奥行き再現範囲の中に、奥行き方向に長大な情報を圧縮して再現する奥行き圧縮という手法（1図 (c)）を開発



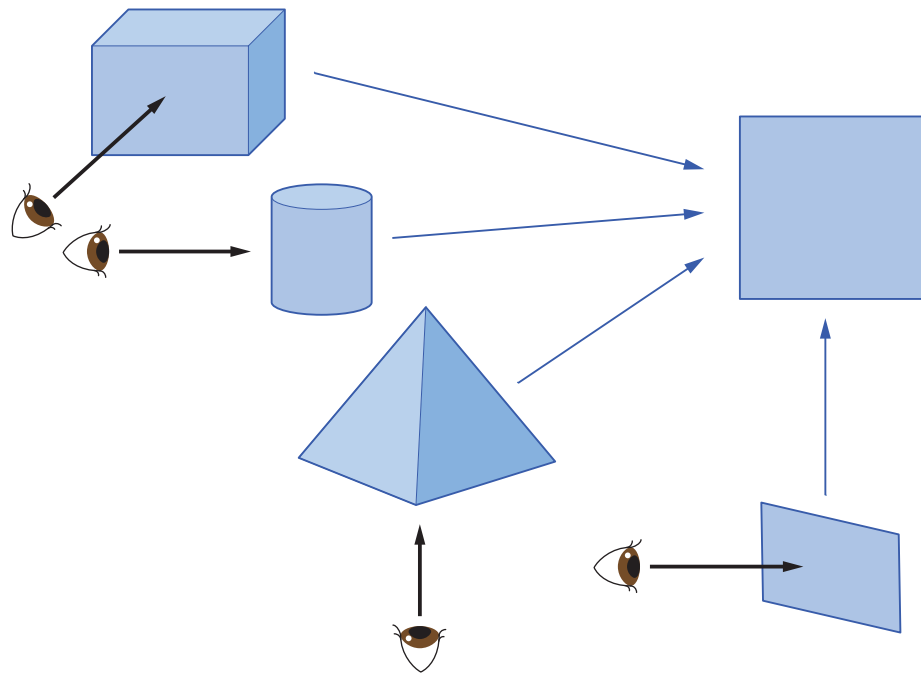
2図 HMD以前によく用いられていたイマーシブメディア表示装置 (CAVE)^{58) 59)} *10

した⁵¹⁾。その後、圧縮方法の変更や観察者の視線に追従した動的手法の導入^{52) 53)}などを通してこれを改良し、より広い奥行き範囲について画質や立体感を実質的に損なうことなく表現する手法を提案した。また、そのような手法を用いるのに必要な画素数も示している⁵⁴⁾。さらに、奥行き方向の複数の位置で高品質な奥行き表現が可能な適応型奥行き圧縮技術を開発し、ライトフィールド・ディスプレイにおいても映像コンテンツが高品質に表現できる可能性を示している⁵⁵⁾(詳細は報告2を参照)。

HMDはその名のとおり頭部に搭載するものであり、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。その中には、距離や大きさの知覚について調べた研究例が多く見られる。たとえばItaguchi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⁵⁶⁾。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過去20年以上にわたり繰り返し報告されてきた⁵⁷⁾。また、Combeらは、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(2図)^{58) 59)}とHMDとで距離知覚の比較を行った⁶⁰⁾。物体をある場所から別の場所に1m未満の距離で移動させる課題を行ったところ、過去の知見と同様に、CAVEとHMDでは現実に比べて著しい距離の過小評価が見られたが、両デバイス間に有意な差は見られなかった。Kellyは、HMD使用者の距離知覚に関する137本の論文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⁶¹⁾。その結果、HMDの視野の広さ(FoV: Field of View)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ほど顕著であることを示した。

イマーシブメディアにおいては、左右眼用の画像を生成したり、あるいは仮想空間における任意の視点からの映像を取得したりする場面が多く見受けられる。そのような映像表現は多くの場合、3次元コンピューターグラフィクス(3DCG)によって実現される。3DCGは、3次元構造をもった物体から構成されたシーンの空間内の任意の点・方向にカメラを配置し、そこから映し出される光景をレンダリングすることによって生成される。したがって、あるシーンを表現するためにそこから3DCGを生成する場合には、

*10
四畳半程度の広さをもつ立方体の内側に観察者が位置し、立方体の4面ないし5面に映像を投影する表示装置。Cave Automatic Virtual Environmentの略語。



3図 一般的視点の仮定*11

*11

立方体、円筒形、四角錐はいずれもカメラを特定の箇所に配置すると正方形の2次元像を得られる。しかしこれはごくまれにしか生じない。一方、板状の物体は正方形に近い2次元像の得られるカメラ配置には多くの可能性がある。したがって、人間の視覚系は正方形の2次元像からは元の物体は板状であったと解釈することを好む。

配置しうるカメラのパラメータは無限に存在することになり、映像制作者は何らかの基準をもとにその中のただ1つの組み合わせを選び取ってCGを生成することになる。

そのような基準のうちの1つとして、生成された2次元画像から観察者が3次元構造をどれだけ容易に理解できるか、という点を採用することも可能である。これに関連して、人間の視覚系が2次元画像から3次元構造をどのように復元しているのか、どのような2次元画像なら誤りなく短時間で3次元構造を回復できるのかということについて多くの研究がなされている^{62)~64)}。では、どのような視点から物体を撮影すると、形状を理解しやすい画像を取得できるのだろうか。そのような問いに対する回答を考えるうえで、「一般的視点の仮定 (generic viewpoint assumption)」という人間の視覚系が用いている戦略を理解することが有用である⁶⁵⁾⁶⁶⁾。これは「視覚処理系は、観察者の視点の対象に対して偶然的な位置にあるとは仮定せず、一般的な位置にあると仮定する⁶⁷⁾」というものである(3図)。たとえば、ある物体を撮影した結果、正方形の2次元像が得られたとして、ではもとはどのような立体構造を持つものだったのかを考えると、円筒形や立方体を真横から撮影した場合にそのような像を得ることも可能であるが、そのような像を得るためにはごく限られた箇所にカメラを配置しなければならない。一方、矩形の板状の構造物であれば、そのような像を得られるカメラ位置は無数に存在する。自然界にはこのような性質があるため、視覚系は「まれな」カメラ位置ではなく「よくある」カメラ位置(一般的視点)からこの像が取得されたと仮定し、元の立体構造は板状の物体であったと推定する、という考え方である。したがって、「まれな」カメラ位置から物体を撮影してしまった場合、視覚系はもとの形状の推定に誤りを生じたり時間がかかったりすることになる。このことから、わかりやすい映像の生成のためには「まれな」カメラ位置を避けるべきであるということになる。

このような知見は、より良い2次元画像取得のための視点選択にも利用されている⁶⁸⁾。また、それ以外にも面の向きとカメラの向きの関係⁶⁹⁾やエントロピーの演算⁷⁰⁾な

どさまざまなモデルが提案されている（Bonaventuraらのレビュー論文⁷¹⁾）。しかし、それらはいずれも単一の物体の視点選択を取り扱うものであり、必ずしも映像制作の文脈で一般的な複数の物体からなるシーンを対象とするものではない。Sakaiら⁷²⁾は複数の物体からなるシーンについて、より良いと感じられるカメラ方向を求めるアルゴリズムを提案し、映像制作において有用性の高い視点選択技術を示した（詳細は報告3を参照）。

6. むすび

イマーシブメディアは、新たな感覚体験をもたらすメディアであり、その発展のためには制作から視聴までのさまざまな段階で新たな技術を導入していく必要がある。こうしたメディアの最終的な受け取り手は人間であるので、適切な技術の導入や効果的な機器の開発には心理学・認知科学の知見が有用であると考えられる。本稿では、これらの知見と計算機科学・情報科学の知見が融合することで工学的に有用な技術を確立できることを多くの事例によって示した。イマーシブメディアの発展においても分野横断的な広い視点と技術の融合が欠かせず、今後も有用な認知科学的知見の獲得を推進していく。

参考文献

- 1) R. Kaplan-Rakowski and K. Meseberg: "Immersive Media and Their Future," *Educational Media and Technology Yearbook*, Springer, Vol.42, pp.143-153 (2019).
- 2) IMDA: "Immersive Media," <https://www.imda.gov.sg/about-imda/research-and-statistics/sgdigital/tech-pillars/immersive-media>
- 3) XR Today: "What is Immersive Media: An Introduction," <https://www.xrtoday.com/mixed-reality/what-is-immersive-media-an-introduction/>
- 4) 舘, 佐藤, 廣瀬: バーチャルリアリティ学, コロナ社 (2011)
- 5) 寺本, 吉田, 浅井, 日高, 行場, 鈴木: "臨場感の素朴な理解," *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.15, No.1, pp.7-16 (2010)
- 6) S. Grassini and K. Laumann: "Questionnaire Measures and Physiological Correlates of Presence: A Systematic Review," *Front. Psychol.*, Vol.11, p.349 (2020).
- 7) M. Slater, M. Usoh and A. Steed: "Depth of Presence in Virtual Environments," *Presence Teleop. Virtual Environ.*, Vol.3, pp.130-144 (1994).
- 8) T. Schubert, F. Friedmann and H. Regenbrecht: "The Experience of Presence: Factor Analytic Insights," *Presence Teleop. Virtual Environ.*, Vol.10, pp.266-281 (2001).
- 9) B. G. Witmer and M. J. Singer: "Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol.7, No.3, pp.225-240 (1998).
- 10) B. G. Witmer, C. J. Jerome and M. J. Singer: "The Factor Structure of the Presence Questionnaire," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol.14, No.3, pp.298-312 (2005).
- 11) H. G. Hoffman, T. Richards, B. Coda, A. Richards and S. R. Sharar: "The Illusion of Presence in Immersive Virtual Reality During an fMRI Brain Scan," *Cyberpsychol. Behav.*, Vol.6, pp.127-131 (2003).
- 12) J. Stevens and J. Kincaid: "The Relationship between Presence and Performance in Virtual Simulation Training," *Open J. Modelling and Simulation*, Vol.3, pp.41-48 (2015).
- 13) W. Winn, M. Windschitl, R. Fruland and Y. Lee: "When Does Immersion in a Virtual Environment Help Students Construct Understanding?" *Proc. International Conference of the Learning Sciences*, pp.497-503 (2002).
- 14) T. Mikropoulos: "Presence: A Unique Characteristic in Educational Virtual Environments," *Virtual Reality*, Vol.10, pp.197-206 (2006).
- 15) S. Persky, K. Kaphinqst, C. McCall, C. Lachance, A. Beall and J. Blascovich: "Presence Relates to Distinct Outcomes in Two Virtual Environments Employing Different Learning Modalities," *CyberPsychology & Behavior*, Vol.12, pp.263-268 (2009).
- 16) S. Sharples, S. V. Cobb, A. Moody and J. R. Wilson: "Virtual Reality Induced Symptoms and Effects (VRISE): Comparison of Head Mounted Display (HMD), Desktop and Projection Display Systems," *Displays*, Vol.29, pp.58-69 (2008).
- 17) J. J. -W. Lin, H. B. L. Duh, D. E. Parker, H. Abi-Rached and T. A. Furness: "Effects of Field of View on Presence, Enjoyment, Memory and Simulator Sickness in a Virtual Environment," *Proc. IEEE Virtual Real.*, pp.164-171 (2002).
- 18) J. McIntire, P. Havig and E. Geiselman: "What Is 3D Good for? A Review of Human Performance on Stereoscopic 3D Displays," *Proc. SPIE 8383, Head- and Helmet-Mounted Displays XVII; and Display Technologies and Applications for Defense, Security, and Avionics VI*, 83830X (2012).
- 19) P. Servos, M. A. Goodale and L. S. Jakobson: "The Role of Binocular Vision in Prehension: A Kinematic Analysis," *Vision Research*, Vol.32, No.8, pp.1513-1521 (1992).
- 20) S. J. Watt and M. F. Bradshaw: "The Visual Control of Reaching and Grasping: Binocular Disparity and Motion Parallax," *J. Experimental Psychology: Human Perception and*

- Performance, Vol.29, No.2, pp.404-415 (2003).
- 21) D. R. Melmoth, A. L. Finlay, M. J. Morgan and S. Grant: "Grasping Deficits and Adaptations in Adults with Stereo Vision Losses," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol.50, No.8, pp.3711-3720 (2009).
 - 22) R. Pepper, D. Smith and R. Cole: "Stereo TV Improves Operator Performance Under Degraded Visibility Conditions," *Opt. Eng.*, Vol.20, pp.579-585 (1981).
 - 23) W. S. Kim, S. R. Ellis, M. E. Tyler, B. Hannaford and L. W. Stark: "Quantitative Evaluation of Perspective and Stereoscopic Displays in Three-axis Manual Tracking Tasks," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.17, No.1, pp.61-72 (1987).
 - 24) L. B. Rosenberg: "The Effect of Interocular Distance upon Operator Performance Using Stereoscopic Displays to Perform Virtual Depth Tasks," *Proc. IEEE VRAIS '93*, pp.27-31 (1993).
 - 25) W. Barfield, C. Hendrix and K. E. Bystrom: "Effects of Stereopsis and Head Tracking on Performance Using Desktop Virtual Environment Displays," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol.8, No.2, pp.237-240 (1999).
 - 26) C. Ware and G. Franck: "Evaluating Stereo and Motion Cues for Visualizing Information Nets in Three Dimensions," *ACM Transactions on Graphics*, Vol.15, No.2, pp.121-140 (1996).
 - 27) C. Ware and P. Mitchell: "Reevaluating Stereo and Motion Cues for Visualizing Graphs in Three Dimensions," *Proc. the 2nd Symposium on Applied Perception in Graphics*, pp.51-58 (2005).
 - 28) C. D. Wickens, D. H. Merwin and E. L. Lin: "Implications of Graphics Enhancements for the Visualization of Scientific Data: Dimensional Integrality, Stereopsis, Motion and Mesh," *Human Factors*, Vol.36, No.1, pp.44-61 (1994).
 - 29) Y. Yeh and L. D. Silverstein: "Spatial Judgments with Monoscopic and Stereoscopic Presentation of Perspective Displays," *Human Factors*, Vol.34, No.5, pp.583-600 (1992).
 - 30) J. M. Lee, J. MacLachlan and W. A. Wallace: "The Effects of 3D Imagery on Managerial Data Interpretation," *MIS Quarterly*, Vol.10, No.3, pp.257-269 (1986).
 - 31) M. E. Brown and J. J. Gallimore: "Visualization of Three-dimensional Structure During Computer-aided Design," *International J. Human-Computer Interaction*, Vol.7, No.1, pp.37-56 (1995).
 - 32) Y. Miyashita, Y. Sawahata, A. Sakai, M. Harasawa, K. Hara, T. Morita and K. Komine: "Display-Size Dependent Effects of 3D Viewing on Subjective Impressions," *ACM Trans. Appl. Percept.*, Vol.19, No.2, pp.1-15 (2022).
 - 33) L. A. Cooper and R. N. Shepard: "Chronometric Studies of the Rotation of Mental Images," in W. G. Chase Ed., *Visual information processing*, pp.76-176, New York: Academic Press (1973).
 - 34) R. Kail and Y. S. Park: "Impact of Practice on Speed of Mental Rotation," *J. Exp. Child Psychol.*, Vol.49, No.2, pp.227-244 (1990).
 - 35) Z. Piri and K. Cagiltay: "Can 3-Dimensional Visualization Enhance Mental Rotation (MR) Ability?: A Systematic Review," *Int. J. Human-Computer Interaction*, pp.1-16 (2023).
 - 36) C. Wheatstone: "Contributions to the Physiology of Vision. —Part the First. On Some Remarkable and Hitherto Unobserved, Phenomena of Binocular Vision," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Vol.128, pp.371-394 (1838).
 - 37) M. Lambooj, W. IJsselsteijn, M. Fortuin and I. Heynderickx: "Visual Discomfort and Visual Fatigue of Stereoscopic Displays: A Review," *J. Imaging Science and Technology*, Vol.53, pp.1-14 (2009).
 - 38) M. Emoto, Y. Nojiri and F. Okano: "Changes in Fusional Vergence Limit and Its Hysteresis after Viewing Stereoscopic TV," *Displays*, Vol.25, pp.67-76 (2004).
 - 39) M. Emoto, T. Niida and F. Okana: "Repeated Vergence Adaptation Causes the Decline of Visual Functions in Watching Stereoscopic Television," *J. Disp. Technol.* Vol.1, pp.328-340 (2005).

- 40) S. Yano, M. Emoto and T. Mitsuhashi: "Two Factors in Visual Fatigue Caused by Stereoscopic HDTV Images," *Displays*, Vol.25, pp.141-150 (2004).
- 41) D. M. Hoffman, A. R. Girshick, K. Akeley and M. S. Banks: "Vergence-Accommodation Conflicts Hinder Visual Performance and Cause Visual Fatigue," *J. Vision*, Vol.8, No.3, pp.1-30 (2008).
- 42) I. Howard and B. Rogers: "Binocular Vision and Stereopsis," Oxford University Press (1995).
- 43) M. Wopking: "Viewing Comfort with Stereoscopic Pictures: An Experimental Study on the Subjective Effects of Disparity Magnitude and Depth of Focus," *J. SID*, Vol.3, pp.101-103 (1995).
- 44) F. Speranza, W. J. Tam and R. Renaud: "Effect of Disparity and Motion on Visual Comfort of Stereoscopic images," *Proc. SPIE*, Vol.6055, pp.94-103 (2006).
- 45) 三科: "インテグラル方式の概要," *NHK技研R&D*, Vol.144, pp.10-17 (2014)
- 46) A. D. Souchet, D. Lourdeaux, A. Pagani and L. Revenitsch: "A Narrative Review of Immersive Virtual Reality's Ergonomics and Risks at the Workplace: Cybersickness, Visual Fatigue, Muscular Fatigue, Acute Stress and Mental Overload," *Virtual Reality*, Vol.27, pp.19-50 (2023).
- 47) Y. Maeda, D. Koide, H. Sasaki and K. Hisatomi: "Depth Reduction in Light-Field Head-Mounted Displays by Generating Intermediate Images as Virtual Images," *IEEE Conf. Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, pp.746-747 (2022).
- 48) T. J. Buker, D. A. Vincenzi and J. E. Deaton: "The Effect of Apparent Latency on Simulator Sickness While Using a See-Through Helmet-Mounted Display," *Human Factors: J. Human Factors and Ergonomics Society*, Vol.54, pp.235-249 (2012).
- 49) K. Stanney, B. D. Lawson, B. Rokers, M. Dennison, C. Fidopiastis, T. Stoffregen, S. Weech and J. M. Fulvio: "Identifying Causes of and Solutions for Cybersickness in Immersive Technology: Reformulation of a Research and Development Agenda," *Int. J. Hum. Comput. Interact.*, Vol.36, pp.1783-1803 (2020).
- 50) M. Gallagher and E. R. Ferrè: "Cybersickness: a Multisensory Integration Perspective," *Multisens Res*, Vol.31, pp.645-674 (2018).
- 51) Y. Sawahata and T. Morita: "Estimating Depth Range Required for 3-D Displays to Show Depth-Compressed Scenes Without Inducing Sense of Unnaturalness," *IEEE Trans. Broadcast*, Vol.64, No.2, pp.488-497 (2018).
- 52) Y. Miyashita, Y. Sawahata, M. Katayama and K. Komine: "Depth Boost: Extended Depth Reconstruction Capability on Volumetric Display," *ACM SIGGRAPH 2019 Talks*, No.35, pp.1-2 (2019).
- 53) Y. Miyashita, Y. Sawahata and K. Komine: "Perceptual Assessment of Image and Depth Quality of Dynamically Depth-Compressed Scene for Automultiscopic 3D Display," *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, Vol.29, No.6, pp.3067-3080 (2023).
- 54) Y. Sawahata, Y. Miyashita and K. Komine: "Estimating Angular Resolutions Required in Light-Field Broadcasting," *IEEE Trans. Broadcast*, Vol.67, No.2, pp.473-490 (2021).
- 55) Y. Sawahata, Y. Miyashita and K. Komine: "Intended 3D Content Expressions on Light-field Displays using Adaptive Depth Compression," *ITE Transactions on Media Technology and Applications*, Vol.10, No.2, pp.75-88 (2022).
- 56) 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.*, Vol.2, Article 712378 (2021).
- 57) P. B. Kline and B. G. Witmer: "Distance Perception in Virtual Environments: Effects of Field of View and Surface Texture at Near Distances," *Proc. Human Factors and Ergonomics Society - 40th Annual Meeting*, pp.1112-1116 (1996).
- 58) 小木哲朗: "没入型ディスプレイの特性と応用の展開," *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol.1, pp.43-50 (1999)
- 59) C. Cruz-Neira, D. J. Sandin, T. A. DeFanti, R. V. Kenyon and J. C. Hart: "The CAVE: Audio

- Visual Experience Automatic Virtual Environment,” Communications of the ACM, Vol.35, pp. 64-72 (1992).
- 60) T. Combe, J.-R. Chardonnet, F. Merienne and J. Ovtcharova: “CAVE and HMD: Distance Perception Comparative Study,” Virtual Reality (2023).
- 61) J. W. Kelly: “Distance Perception in Virtual Reality: a Meta-analysis of the Effect of Head-mounted Display Characteristics,” IEEE Trans. Vis. Comput. Graph. (2023).
- 62) D. Marr: “Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information,” Henry Holt and Co., Inc. (1982).
- 63) I. Biederman: “Recognition-by-components: A theory of Human Image Understanding,” Psychological Review, Vol.94, No.2, pp.115-147 (1987).
- 64) H. H. Bülthoff and S. Edelman: “Psychophysical Support for a Two-dimensional View Interpolation Theory of Object Recognition,” Proc. National Academy of Sciences of the United States of America, Vol.89, No.1, pp.60-64 (1992).
- 65) W. Freeman: “The Generic Viewpoint Assumption in a Framework for Visual Perception,” Nature, Vol.368, pp.542-545 (1994).
- 66) M. Kitazaki and S. Shimojo: “‘Generic-view Principle’ for Three-dimensional-motion Perception: Optics and Inverse Optics of a Moving Straight Bar,” Perception, Vol.25, No.7, pp.797-814 (1996).
- 67) 北崎: “視知覚研究における一般的視点の原理アプローチ,” VISION, Vol.9, pp.173-180 (1997)
- 68) D. Weinshall and M. Werman: “On View Likelihood and Stability,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.19, No.2, pp.97-108 (1997).
- 69) T. Kamada and S. Kawai: “A Simple Method for Computing General Position in Displaying Three-dimensional Objects,” Comput. Vis. Graph. Image Proc., Vol.41, pp.43-56 (1988).
- 70) T. Arbel and F. P. Ferrie: “Viewpoint Selection by Navigation through Entropy Maps,” Proc. 7th IEEE Int. Conf. Computer Vision, Vol.1, pp.248-254 (1999).
- 71) X. Bonaventura, M. Feixas, M. Sbert, L. Chuang and C. Wallraven: “A Survey of Viewpoint Selection Methods for Polygonal Models,” Entropy, Vol.20, No.5, p.370 (2018).
- 72) A. Sakai, Y. Sawahata, Y. Miyashita and K. Komine: “Cognition-aware Automatic Viewpoint Selection in Scenes with Crowds of Objects,” SIGGRAPH Asia 2022, No.21, pp.1-2 (2022).



はらさわ まきみつ
原澤 賢充

2006年入局。同年より放送技術研究所において、視覚などの感覚入力に対する人間の情報処理過程と映像技術を結び付ける研究に従事している。専門は視覚の心理物理学と人間の知覚・認知の実験心理学。現在、放送技術研究所空間表現メディア研究部エキスパート。博士（情報科学）。

3D表示が主観的印象を強める効果の画面サイズ依存性

宮下山斗 澤島康仁 界 瑛宏 原澤賢充 原 一宏 小峯一晃

Display-size Dependent Effects of 3D Visualization Boosting Subjective Impressions

MIYASHITA Yamato, SAWAHATA Yasuhito, SAKAI Akihiro, HARASAWA Masamitsu, HARA Kazuhiro and KOMINE Kazuteru

要約

3Dディスプレイは両眼視差および運動視差と呼ばれる「奥行き手がかかり」をもたらす、実物感の高い表示を可能とする。3D表示可能な画面のサイズはスマートフォンから映画用スクリーンまで多様である。その一方で、どの画面サイズにおいて3D表示が視聴者の感じる印象をより強めるのかは明らかになっていない。こうした知見は将来の装置開発やコンテンツ制作のための重要な指針となる。本研究では3種類の画面サイズ（11.5、55、200インチ）を用いて、2Dおよび3D映像がもたらす印象を20組の形容詞対で評価した。因子分析から、映像がもたらす印象に関して3つの主要な因子が抽出され、それぞれを「迫力・臨場感」、「自然さ・視認性」、「運動・空間性」と名付けた。実験の結果、奥行き手がかかりが主観的印象を強める効果は画面サイズによって異なった。特に、手で持てる小さな画面では、運動視差が「迫力・臨場感」および「運動・空間性」の印象を他の画面サイズよりも強めた。また、両眼視差を提示すると「自然さ・視認性」の印象に低下がみられた。これは2眼立体表示におけるクロストークや輻輳・調節矛盾といったアーチファクトが起因したと考えられる。以上から、3D表示が主観的印象を強める程度は画面サイズに依存し、特に手で持てる小さな画面において3D表示が最も恩恵をもたらすことが示された。

ABSTRACT

3D displays express realistic and immersive scenes by offering depth cues: binocular disparities and motion parallax. While the screen sizes for 3D visualizations range from smartphone to cinema-sized, it remains unclear which sizes the depth cues have large (or small) effects in boosting subjective impressions. An understanding of these relations would offer crucial guidelines for display development and content production. In this study, we used displays with three different screen sizes (11.5, 55, and 200 inches) and asked participants to evaluate their impressions of 2D or 3D-visualized scenes. Using factor analysis, we extracted three principal factors named power, visibility, and space. The results showed that the intensity of impression induced by depth cues depends on the screen size. Specifically, in the case of a small display held with both hands, motion parallax boosted the impressions of power and space more than with the other displays. We found that visibility impressions deteriorated when binocular disparities were enabled, probably due to artifacts such as crosstalk or vergence-accommodation conflicts induced by stereoscopic displays. These findings suggest that small displays offer the largest benefits for 3D visualization.

1. はじめに

3D表示はあたかもそこに物があるかのような体験を可能にし、映画館をはじめ、テレビや携帯ゲーム機、HMD (Head Mounted Display) など多くの表示装置に用いられている。今後、装置の性能やコンテンツの品質が向上することにより、3D表示はさらに生活に密着していくと予想される。本研究では、3D表示のもたらす効用が画面サイズとどのような関係にあるかを明らかにし、装置開発やコンテンツ制作のための指針を示すことを目指す。

3D表示には両眼視差および運動視差とよばれる「奥行き手がかり」を提示できるという特徴がある。両眼視差とは左右の眼に映る像のずれに基づく奥行き手がかりであり、物体の奥行き方向の位置に応じて変化する。一般的な3D映画では特殊なメガネを用いて両眼に各眼用の映像をみせることで両眼視差を再現し、スクリーンの前後の奥行きを表現する。また、運動視差とは頭部運動時に生じる網膜像の相対的なずれのことであり、この量も物体の奥行きによって変化する。例えば電車の車窓から見える景色は、遠くの山はゆっくりと、近くの柱は素早く過ぎ去っていく。運動視差を再現するためには、利用者の頭部位置を追跡してその位置から見える映像を逐次表示するといった方法が用いられる。

このような両眼視差・運動視差はそれぞれ独立に提示することが可能であり、3D表示とはこれらを組合せた表現であるとみなせる。両眼視差を再現する手法としては、偏光/シャッター方式の3Dメガネやレンチキュラーレンズなどが提案されている。また、ヘッドトラッキングを用いて頭部運動と同期してレンダリングすることで運動視差を再現することができる。これらを組み合わせたシステムとしてFTVR (Fish Tank Virtual Reality)¹⁾やCAVE (Cave Automatic Virtual Environment)²⁾が提案されている。また、インテグラル3D³⁾やホログラフィー⁴⁾などの空間像再生型の表示方式はディスプレイ単体で両眼視差・運動視差の両方を再現できる。

こうした3Dディスプレイを開発・活用していくうえで、表示できる像の大きさの上限、すなわち画面サイズはどの装置も備える潜在的な属性である。画面サイズはスマートフォンから映画用スクリーンまで多様であり、装置全体の規模や利用者の数、被写体の好ましい撮影サイズ⁵⁾などに影響する。

また、3D表示をするためには装置構成やコンテンツ制作にかかるコストが2D表示のもの比べて大きくなる傾向があることを念頭におく必要がある。基本的に、

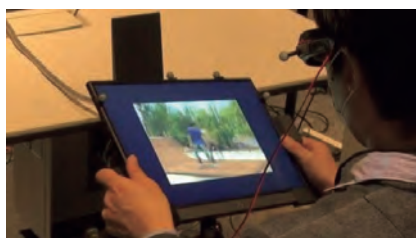
奥行き手がかりを提示するためには前述した3Dメガネやヘッドトラッカーなどの機器を増設する必要がある。光線再生型の表示方式には、超高精細な表示パネルが用いられることが一般的であり⁶⁾、レンダリングのためには高性能な計算機を要する。さらに、コンテンツ制作者は、快適に3D映像をみられるように画面サイズや視距離に応じて両眼視差を適正な範囲に調整する⁷⁾⁸⁾必要がある。同様に、運動視差を伴うコンテンツでは、利用者が頭を動かしてさまざまな視点から見られるようになるため、撮影シーンのなかで品質を保たなければならない空間が増加する。

3D表示にかかわる装置開発やコンテンツ制作をしていくうえで、特定の画面サイズにおいてどの奥行き手がかりの効用が大きい/小さいという知見は重要な指針となる。例えば、ある画面サイズにおいて両眼視差の効用が大きく、運動視差の効用が小さい場合には、両眼視差だけを提供することにより装置構成やコンテンツ制作のコストを削減できる。そこで我々は3種類の画面サイズの3D表示装置を用いて、奥行き手がかりがもたらす効用の大きさと画面サイズの関係調べた。

2. 3D表示の効用

3D表示の効用を調べる手法はおおむね主観評価と客観評価の2つに分けられ、このうち本研究では主観評価によって3D表示がどのような印象を強めるのかを探索的に調べた。一般的に主観評価では、参加者は映像を観たときに感じる印象(臨場感や没入感、立体感など)について、例えばその強度を数値で回答する。また、客観評価では参加者に何らかのタスクを与えてその成績を指標とする手法や、生体信号から間接的に参加者の情動を予測するといった手法が用いられる。例えばWareらやSollenbergerらは、重なりのある複雑な軌跡をたどるタスクを実施しその成績を調べた¹⁾⁹⁾。その結果、両眼視差と運動視差を組み合わせると2D表示に比べて成績が向上し3D表示が空間認知に貢献することが示された。ただし、このような客観評価では、調べられる効用が実施するタスクによって狭い範囲に限定されることから、さまざまな効用を調べるためには多くのタスクを実施する必要がある。一方で、主観評価では印象についての質問項目を増やすことで比較的幅広い効用を調べることができる。本研究では、主観評価を用いて3D表示の効用を多面的に調べた。

これまでに両眼視差や運動視差の効用についての研究が多く報告されているものの、その大部分は単一の画面



小
タブレット相当
(対角11.5インチ)



中
家庭用テレビ相当
(対角55インチ)



大
映画用スクリーン相当
(対角200インチ)

1図 3種類の画面サイズの実験装置

サイズで調べたものである。例えば、Wareらはある画面サイズのディスプレイを用いて2つの奥行き手がかりの有無を組合せて評価したところ、両眼視差なしで運動視差のみがあるときに立体感の印象が最大となることを明らかにした¹⁾。また、Kongsilpらはある画面サイズの2眼立体ディスプレイに運動視差を付与すると臨場感の印象が高まることを明らかにした¹⁰⁾。ところが、こうした個々の画面サイズで得られた知見が別の画面サイズにどの程度当てはまるかまでは明らかになっていない。

画面サイズは3D映像のもたらす主観的な印象に影響を与える可能性がある。これは、画面サイズに応じて奥行き手がかりの強度が間接的に変化することが関係している。具体的には、まず画面サイズに応じて快適な視距離^{*1}が異なってくる。例えば、スマートフォンは手で持てる程度の距離で見られるのが一般的であるが、映画館ではそれよりも格段に離れて見られる。この視距離が変化すると両眼視差・運動視差の量も変化することから、画面サイズは3D表示の与える印象に影響する可能性がある。以上をふまえて、本研究ではさまざまな画面サイズにおいて両眼視差および運動視差がもたらす印象の強さを調べた。

3. 異なる画面サイズで2D/3D表示の印象を評価

1図に示すような3種類の画面サイズで実験を行った。これらの画面は小さいものから順にタブレット、家庭用テレビ、映画用スクリーンなどでの利用を想定したものであり、各表示領域の対角の長さは11.5、55、200インチであった。実際の用途を想定し、参加者は小画面のディスプレイのみ両手で持ってディスプレイの向きを変えながら観察した。また、中・大画面のディスプレイでは、参加者は画面の高さの1.5倍の視距離となる位置に着席し頭部を動かして観察した。両眼視差を再現する

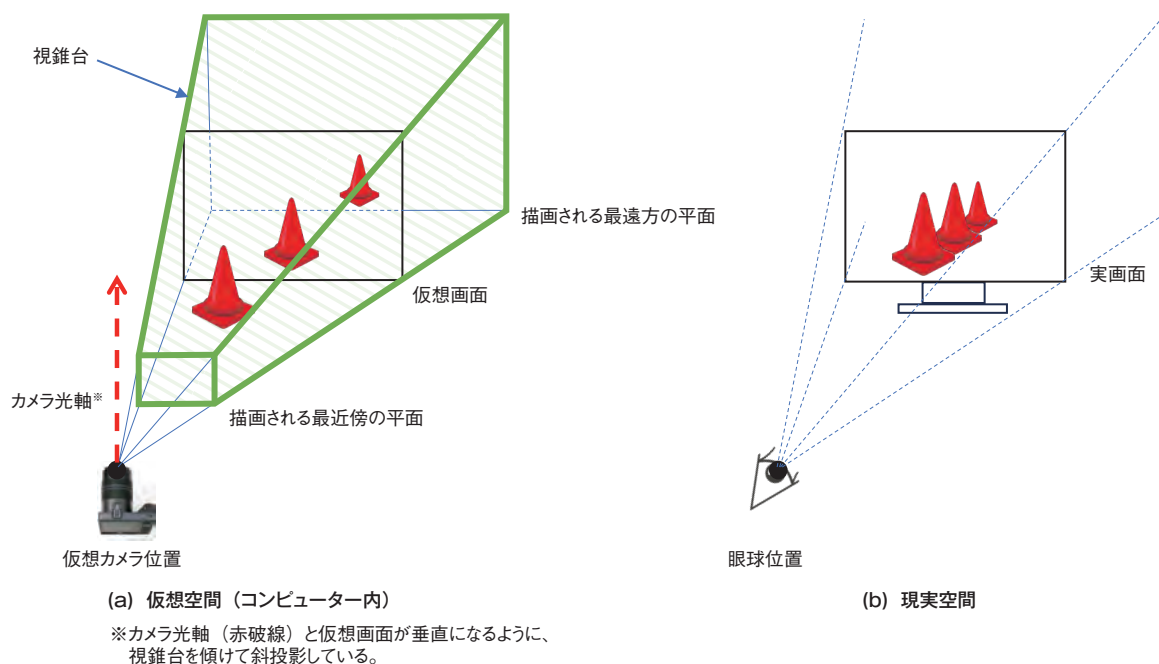
ために小画面ではシャッターメガネ、中・大画面では偏光メガネを使用した。また、運動視差を再現するためにモーショントラッカー (OptiTrack) を使用し、メガネとディスプレイに取り付けた再帰性反射マーカの位置を検出した。映像の描画にはUnityを使用し、観察者にとってディスプレイがあたかも仮想世界と現実世界をつなぐ窓であるかのようにシーンをレンダリングした。具体的には、2図に示すように左右の眼に相当する位置に仮想カメラを2台配置し、視錐台が画面枠の4つの頂点と接するようにして斜投影した。

3図は実験で使用した6つのCG動画シーンを表す。これらは、普段我々が目にするテレビ番組と同様に、さまざまな奥行きをもつ。ここで言うシーンの「奥行き」とは、主要な被写体 (ボールや人物など) から別の主要な被写体までの深度方向の最大距離のことである。実験では0.6 m (ジャグリング) から26 m (テニス) までの多様な奥行きシーンを用いた。

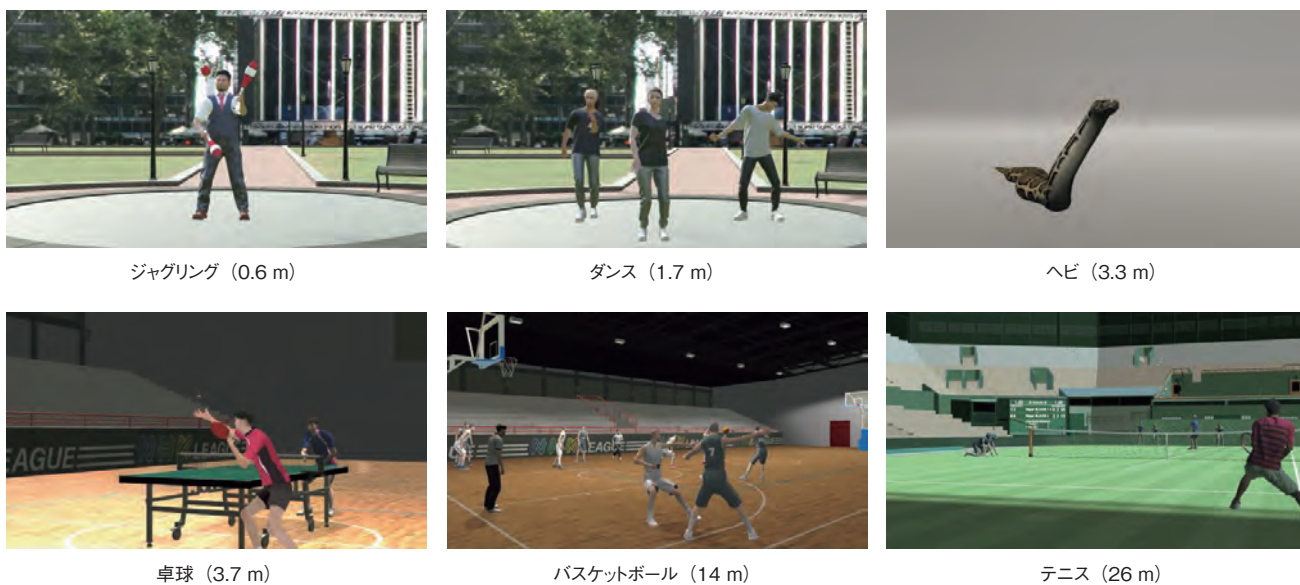
これらのシーンのスケールは画面のサイズに応じて変えられた。画面サイズが異なるにもかかわらずシーンを同じスケールで表示してしまうと、画面内での被写体の位置や、画面枠と被写体の大きさの比が変わってしまう。これらの条件をそろえるために、画面サイズに応じてシーンの3次元スケールを変えた。具体的には、200インチの大画面に表示するシーンのスケールを現実世界と一致させ、ほかの小・中画面ではそれぞれ11.5/200倍、55/200倍に縮小した。なお、我々が普段視聴する2D映像でも、同じコンテンツが異なるサイズの画面に拡大・縮小して表示されており、同様のスケール変換が行われている。

実験では画面サイズ、両眼視差、運動視差の3つの要因を操作した。それぞれ、画面サイズが小/中/大の3水準、両眼視差があり/なしの2水準、運動視差があり/な

*1 画面から観察地点までの距離。観察地点は両眼の midpoint とする。



2図 眼球位置に基づくレンダリング（片目分）



3図 CG動画刺激

しの2水準で構成される。各参加者が観察した刺激の総数は72（= 6 [シーン] × 3 [画面サイズ] × 2 [両眼視差] × 2 [運動視差]）である。

参加者は各刺激を2回続けて観察し、各インターバルの終了後に感じた印象の強さを回答した。各インターバルの長さは13秒で、開始前にそれぞれ2秒間のグレー映像を表示した。参加者は1表に示すような20組の形容詞対を用いて7段階で映像を評価した。これらの形容詞対は、高精細2D映像がもたらす印象の主要因子を求めた先行研究¹¹⁾を参考に選定された。20組の形容詞対に対し

て一度に回答しようとする、感じた印象を忘れてしまう恐れがあったため、参加者は各インターバル終了後、半分の10組の形容詞対に回答した。実験には立体視機能を有する48名が参加した。3つの画面サイズの順序効果を排除するために、参加者は6つのグループに分けられカウンターバランス^{*2}がとられた。

データの分析では、まず因子分析により主要因子を抽

*2 課題を遂行する順序が結果に与えてしまう影響を相殺するために、課題遂行順序の取り得るパターンに基づいてグループを作成し、参加者を均等に割り当てること。

1表 2D/3D映像の印象評価に用いた20組の形容詞対

#	形容詞対	
1	立体感がない	立体感がある
2	実物感がない	実物感がある
3	迫力がない	迫力がある
4	臨場感がない	臨場感がある
5	その場にいらないような	その場にいるような
6	遠い	近い
7	つまらない	面白い
8	不安定な	安定した
9	不自然な	自然な
10	雑然とした	整然とした
11	形がわかりにくい	形がわかりやすい
12	ごこちない	流れるような
13	質感がわかりにくい	質感がわかりやすい
14	位置がわかりにくい	位置がわかりやすい
15	重い	軽い
16	ゆったりした	きびきびした
17	遅い	速い
18	開放感がない	開放感がある
19	狭い	広い
20	嫌いな	好きな

出してから、各因子得点を用いて3要因の分散分析^{*3}を実施した。今回用いた20組の形容詞対により3D表示がもたらす印象の強さを幅広く測ることができる。これらに潜在する因子を見つけられれば、より少ない次元で簡潔に効用を記述可能となる。これを目的として因子分析を実施した。因子数はKaiser-Guttman基準^{*4}によって決定され、各因子の直交性を想定してVarimax回転^{*5}が適用された。また、分散分析では有意水準^{*6}を $p=0.05$ とし、3段階の効果量 η^2 の値^{*7}(0.01, 0.06, 0.14)を基準として、これら以上のときにそれぞれ小、中、大程度の効果をもつと解釈した。ただし、過度な検出を回避するため $p<0.05$ の場合でも、効果がとても小さい場合($\eta^2<0.01$)には有意でないものとみなした。

4. 3D表示が強める印象とその効果の画面サイズ依存性

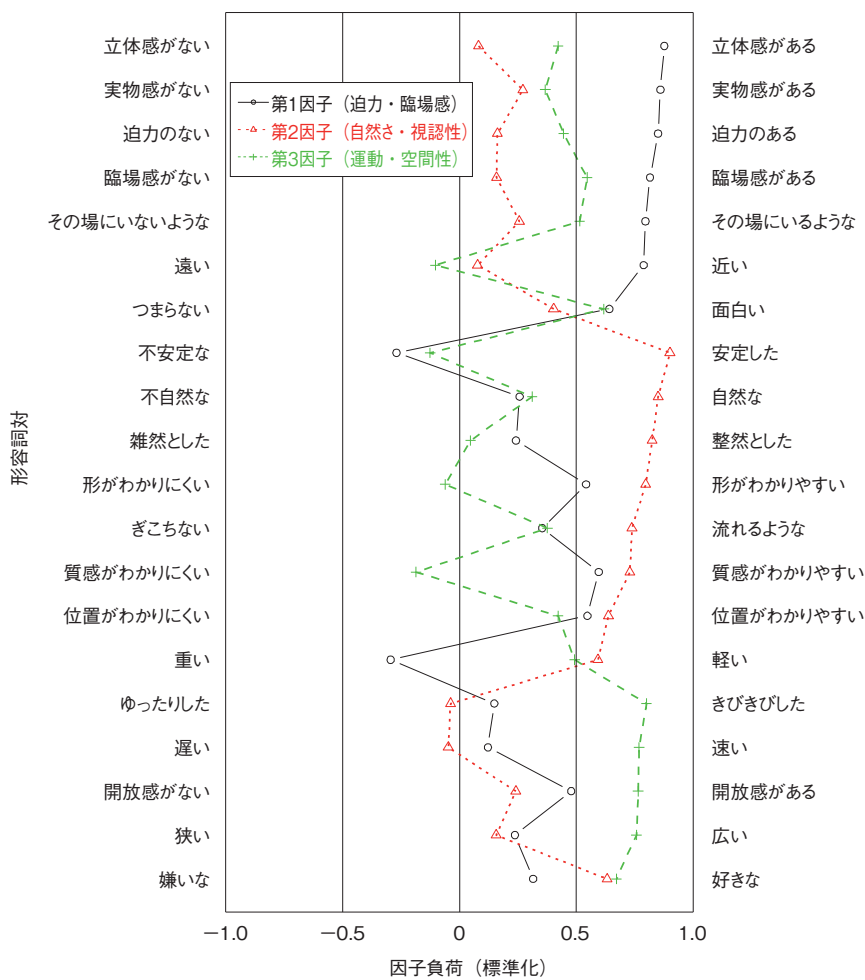
4図は因子分析の結果であり、それぞれの形容詞が主要因子にどの程度影響するかを横軸の因子負荷の値で表している。Kaiser-Guttman基準に基づき、主要因子の数は3つと求まった。各因子の情報の豊富さを表す固有値は11.5、3.5、2.4であり、大きいものから順に (a) 迫力・臨場感、(b) 自然さ・視認性、(c) 運動・空間性

と名付けた。各因子と因子負荷量の大きかった形容詞の組み合わせは以下のとおりである。(a) 迫力・臨場感の因子に高い負荷をもつ形容詞は「立体感がある」、「実物感がある」、「迫力がある」、「臨場感がある」、「その場にいるような」、「近い」、「面白い」であった。(b) 自然さ・視認性の因子に高い負荷をもつ形容詞は「安定した」、「自然な」、「整然とした」、「形がわかりやすい」、「流れるような」、「質感がわかりやすい」、「位置がわかりやすい」であった。また、(c) 運動・空間性の因子に高い負荷をもつ形容詞は「きびきびした」、「速い」、「開放感がある」、「広い」、「好きな」であった。各因子の寄与率は0.317、0.277、0.251であった。また、累積寄与率は0.844であり、これら3つの因子で今回測った印象の大部分が説明可能である。

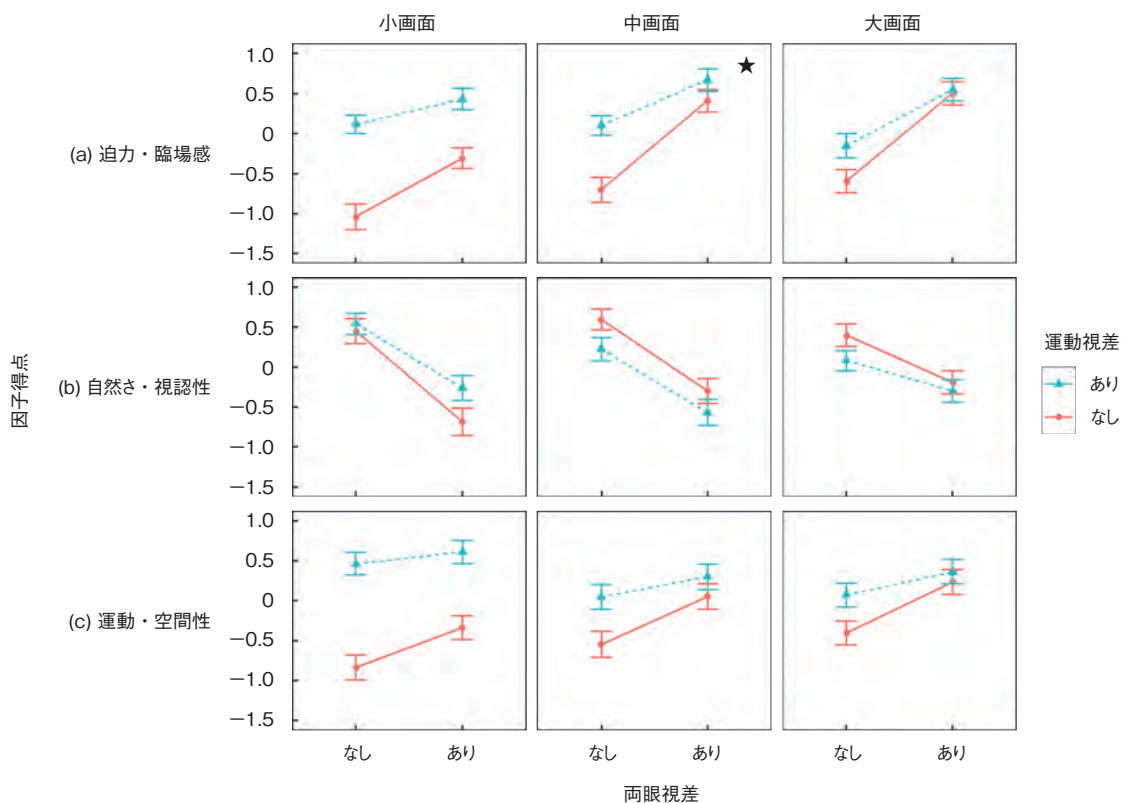
5図は各因子における因子得点を、3つの要因(画面サイズ、両眼視差、運動視差)の組み合わせでプロットしたものである。例えば、直線が右肩上がりの場合には、両眼視差の付与によってその印象が強まったことを意味する。また、青破線と赤実線の間隔が大きいほど、運動視差の付与によってその印象が強まったことを意味する。

各因子において、これら3つの要因の主効果^{*8}、交互作用^{*9}、単純主効果^{*10}を分散分析で調べた。特定の画面サイズにおける両眼視差と運動視差の単純主効果について、要約を2表に示す。交互作用の有無にかかわらず単純主効果を解析することは一般的ではない。しかしながら、単純主効果は装置開発やコンテンツ制作において参考になることが予想されたため実施した。以下では主効果、交互作用についての詳細な分析結果について述べる。

- *3 群間と群内における観測データのばらつきに基づいて、着目している要因の効果調べる分析方法。
- *4 得られた因子のうち固有値が1以上のものを選択するという基準。
- *5 因子負荷のばらつきが大きくなるように因子の軸を回転し、各因子と形容詞対の関係を解釈しやすくする処理。
- *6 帰無仮説を棄却する基準となる確率。有意水準 $p=0.05$ は帰無仮説が真であるにもかかわらず棄却してしまう確率が5%であることを意味する。
- *7 主効果あるいは交互作用がもたらすばらつきが、データ全体のばらつきに比べてどの程度大きいかを、平方和の比で表した値。
- *8 単一の要因における効果。本研究では、画面サイズ、両眼視差、運動視差の3つの要因の主効果を調べた。
- *9 複数の要因間にある相乗効果。本研究では、画面サイズ、両眼視差、運動視差のうち2つもしくは3つの要因の組合せにおいて、ある要因の結果が他の要因の水準(例:小、中、大画面など)に依存しているかを調べた。
- *10 ある要因を特定の水準のみに絞ったときの、別の着目している要因の効果。例えば本研究では、画面サイズを小画面のみに絞ったときの両眼視差の効果などを調べた。



4図 抽出された主要因子における各形容詞の因子負荷



5図 各主要因子における因子得点

2表 各画面サイズにおける両眼視差・運動視差の単純主効果

	両眼視差			運動視差		
	P (S)	P (M)	P (M)	P (M)	P (S)	—(★★)
迫力・臨場感	P (S)	P (M)	P (M)	P (M)	P (S)	—(★★)
自然さ・視認性	N (M)	N (M)	N (S)	—	N (S)	—
運動・空間性	P (S)	P (S)	P (S)	P (L)	P (S)	P (S)
	小	中	大	小	中	大
	画面サイズ					

※P: Positiveはその印象を強める効果、N: Negativeは弱める効果を表す。
カッコ内のS、M、Lはそれぞれ効果の程度が小、中、大であることを表す。

4.1 迫力・臨場感

(1) 主効果

5図(a)は迫力・臨場感の因子得点を表しており、両眼視差と運動視差それぞれに、迫力・臨場感の印象を高める傾向があることを示している。具体的には、両眼視差に中程度の主効果があることが確認された ($F(1, 47) = 198.0^{*11}$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.081$)。また、運動視差と画面サイズにはそれぞれ小程度の主効果があった(それぞれ、 $F(1, 47) = 213.2$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.047$ および $F(2, 94) = 23.9$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.011$)。

(2) 交互作用

5図(a)では列が左から右になるほど2本の直線の間隔が狭まっており、画面サイズが大きくなるにつれ運動視差による印象を強める効果が小さくなる傾向が表されている。実際に、画面サイズと運動視差の間には小程度の交互作用があった ($F(2, 94) = 38.3$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.012$)。一方、その他の要因の組、すなわち画面サイズと両眼視差、両眼視差と運動視差の間に有意な交互作用はなかった ($\eta^2 < 0.01$)。また、3つの要因間(画面サイズ、両眼視差、運動視差)に有意な交互作用はなかった ($\eta^2 < 0.01$)。

4.2 自然さ・視認性

(1) 主効果

5図(b)では、直線がすべて右肩下がりになっており、両眼視差を付与することで自然さ・視認性の印象が低くなる傾向が表されている。自然さ・視認性において、両眼視差の主効果は中程度であった ($F(1, 47) = 142.5$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.081$)。また、その他の要因(運動視差および画面サイズ)には有意な主効果はなかった ($\eta^2 < 0.01$)。

(2) 交互作用

要因間のすべての組合せで有意な交互作用はなかった。ただし、小程度の効果に近い交互作用が、画面サイ

ズと両眼視差、画面サイズと運動視差の間にあった(それぞれ、 $F(2, 94) = 16.2$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.006$ および $F(2, 94) = 24.7$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.009$)。

4.3 運動・空間性

(1) 主効果

5図(c)は運動・空間性の因子得点を表しており、両眼視差と運動視差それぞれによって印象がやや強まる傾向があった。具体的には、両眼視差と運動視差にはそれぞれ小程度の主効果があった ($F(1, 47) = 77.0$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.021$ および $F(1, 47) = 197.9$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.049$)。また、画面サイズには有意な主効果はなかった ($\eta^2 < 0.01$)。

(2) 交互作用

5図(c)では、列が左から右になるほど2つの直線の間隔が狭まっており、画面サイズが大きくなるにつれて運動視差が印象を強める効果が小さくなる傾向が示されている。実際に、画面サイズと運動視差の間には小程度の交互作用があった ($F(2, 94) = 40.0$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.017$)。その他の組合せ(画面サイズと両眼視差、両眼視差と運動視差、3要因間)には有意な交互作用はなかった ($\eta^2 < 0.01$)。

5. 考察

実験から、画面サイズに応じて3D表示のもたらす印象の強さは常に一定というわけではないことが明らかとなった(2表)。特に、「迫力・臨場感」および「運動・空間性」の因子では、画面サイズと運動視差に交互作用があり、より小さい画面で運動視差の効果が大きくなる

*11 要因によるばらつきが、誤差によるばらつきに対してどれだけ大きいかを平均平方の比で表した数値。 $F(df_1, df_2)$ における df_1 と df_2 はそれぞれ要因と誤差によるばらつきが従う χ^2 (カイ2乗)分布の自由度を表し、平均平方の算出に用いられる。

ことが示された。これは、画面サイズが小さいほど、より斜めから画面を見る頻度が高くなる¹²⁾ことに起因していると考えられる。画面サイズと両眼視差の間には、どの因子においても有意な交互作用がなかったことから、両眼視差の付与を検討する際には画面サイズを意識しなくてもよいことが示唆された。以上から、3D表示でもっとも恩恵を受けるのは画面サイズがより小さなディスプレイであり、画面サイズに依存する奥行き手がかりは運動視差で、そのときに強められる印象は「迫力・臨場感」および「運動・空間性」であることが明らかとなった。

4図に示された形容詞対と主要因子の関係は、3D表示の効用に関する別の実験にも活用できると考えられる。本研究で着目した画面サイズの他にも、画面の角度やコンテンツとのインタラクティブ性のような属性が3D表示の効用にもたらす影響を調べることも考えられる。4図を参照し、注目したい因子に高い負荷を持つ形容詞対だけを用いることで質問項目を絞るといった活用が見込まれる。

小さな画面において3D表示の効果が大きいという結果は、小さい画面で印象が最大となることを示しているわけではない。実際に5図(a)では、3D表示で「迫力・臨場感」の因子得点が最大となるのは小画面ではなく中画面において両眼視差・運動視差あり条件のとき(★)である。本研究の目的は、3D表示で印象が最大となる画面サイズを求めることではなく、2D表示と比べて3D表示をしたときに画面サイズに応じて印象がどれだけ強まるか(2表)を明らかにすることである。このような知見は、装置開発やコンテンツ制作者が3D表示の導入を検討する際に役立つ。例えば2表の右上隅のセル(★★)から、「迫力・臨場感」に対して大画面では運動視差の単純主効果が有意でないことがわかる。このことから、大画面で立体感や実物感といった「迫力・臨場感」にかかわる印象を高める目的で運動視差を付与するのは非効率的であるといった解釈が得られる。

4.1～4.3節の結果から、画面サイズの主効果があったのは第一因子の「迫力・臨場感」のみである。言い換えれば、「自然さ・視認性」や「運動・空間性」を高めるには、単に画面サイズを変えるだけでは困難なことが示された。一方、両眼視差および運動視差には「運動・空間性」において小程度の主効果があった(4.3節)ことから、3D表示には「運動・空間性」の印象を高める性質があることが示唆された。

両眼視差による「自然さ・視認性」の低下(5図(b))は、必ずしも両眼視差が不要であることを意味するわけではない。「自然さ・視認性」が低下した原因として、

3Dメガネを用いた両眼立体視におけるクロストーク^{*12}や輻輳・調節矛盾^{*13}のようなアーチファクト(ノイズ)が考えられる。我々は日常生活で両眼立体視をしており、そのせいで「不自然さ」を感じることはないだろう。同様に、両眼立体視が原因で「物の形状」や「位置関係」がわかりづらいと感じることはないと考えられる。このことから、表示品質を実物体の像のものにより近づければ、この両眼視差による「自然さ・視認性」の低下は解消されると見込まれる。光学特性が実物体に近い高品質な表示方法は、空間像再生型のインテグラル3Dやホログラフィーなどを代表とし、盛んに研究・開発が進められている。また、両眼視差によって空間認知タスクの成績が向上する¹¹⁾⁹⁾といった利点も考慮して、両眼視差の付与を検討することが望ましい。

6. まとめ

本研究では、画面サイズに依存して、3D表示で強められる主観的印象の程度が変化することが明らかとなった。特に、小さい画面サイズでは運動視差によって「迫力・臨場感」と「運動・空間性」の印象がより強められることが示された。このような画面サイズに応じた3D表示の効用に関する知見は、将来の3D表示サービスにおける装置開発やコンテンツ制作の際に重要な指針になると期待される。

謝辞 本研究の実験デザインおよび実験結果の考察においてNHK財団 森田寿哉 上級研究員に多大なご助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

本稿は、海外論文誌 ACM Transactions on Applied Perception 誌に掲載された下記の論文をもとに加筆・修正したものである。

Y. Miyashita, Y. Sawahata, A. Sakai, M. Harasawa, K. Hara, T. Morita and K. Komine: "Display-Size Dependent Effects of 3D Viewing on Subjective Impressions," ACM Trans. Appl. Percept. Vol.19, No.2, Article 5 (2022).

*12 左右の眼それぞれのためにレンダリングされた映像がもう片方の目でも見えてしまう現象。

*13 ヒトは眼球を回転(輻輳)して視対象を網膜の中心窩にとらえる。その際の輻輳量は視対象の奥行きによって決まる。一方、メガネ型3Dディスプレイでは、眼球のピント(調節)が合う奥行きはスクリーン面付近となる。このように輻輳は物体の奥行き、調節はスクリーン面の奥行きに基づいて駆動され、これらの奥行きが一致しない現象を輻輳・調節矛盾と呼ぶ。

- 1) C. Ware, K. Arthur and K. Booth: "Fish Tank Virtual Reality," Proc. ACM CHI, pp.37-42 (1993).
- 2) C. Cruz-Neira, D. Sandin and T. DeFanti: "Surround-screen Projection-based Virtual Reality: The design and Implementation of the CAVE," Proc. ACM SIGGRAPH, pp.135-142 (1993).
- 3) G. Lippmann: "La Photographie Integrale," C. R. Acad. Sci., Vol.146, pp.446-451 (1908).
- 4) D. Gabor: "A New Microscopic Principle," Nature, Vol.161, 4098, pp.777-778 (1948).
- 5) M. Harasawa, Y. Sawahata, K. Komine and S. Shioiri: "Effects of Content and Viewing Distance on the Preferred Size of Moving Images," J Vis, Vol.20, No.3, pp.1-14 (2020).
- 6) H. Hoshino, F. Okano, H. Isono and I. Yuyama: "Analysis of Resolution Limitation of Integral Photography," Opt. Soc. Amer., Vol.15, No.8, pp.2059-2065 (1998).
- 7) T. Shibata, J. Kim, D. M. Hoffman and M. S. Banks: "The Zone of Comfort: Predicting Visual Discomfort with Stereo Displays," J. Vis., Vol.11, No.8, pp.1-29 (2011).
- 8) Y. Miyashita, Y. Sawahata and K. Komine: "Perceptual Assessment of Image and Depth Quality of Dynamically Depth-compressed Scene for Automultiscopic 3D Display," IEEE Trans. Vis. Comput. Graph., Vol.29, No.6, pp.3067-3080 (2023).
- 9) R. Sollenberger and P. Milgram: "Effects of Stereoscopic and Rotational Displays in a Three-dimensional Path-tracing task," Human Factors, Vol.35, 3, pp.483-499 (1993).
- 10) S. Kongsilp and M. Dailey: "Motion Parallax from Head Movement Enhances Stereoscopic Displays by Improving Presence and Decreasing Visual Fatigue," Displays, Vol.49, pp.72-79 (2017).
- 11) M. Harasawa, Y. Sawahata and K. Komine: "The Factors Affecting Preferred Physical Size of High-resolution Moving Images," In Abstracts from the 5th Visual Science of Art Conference, pp.337-426 (2017).
- 12) Y. Miyashita, Y. Sawahata, A. Sakai, M. Harasawa, K. Hara, T. Morita and K. Komine: "Display-Size Dependent Effects of 3D Viewing on Subjective Impressions," ACM Trans. Appl. Percept, Vol.19, No.2, Article 5 (2022).



みやした やまと
宮下 山斗

2015年入局。放送技術局を経て、2017年から放送技術研究所において3D映像の奥行き圧縮表現、3D表示がもたらす効用の画面サイズ依存性、ヒトの視覚特性に基づく理想的HMDの要求仕様に関する研究に従事。現在、放送技術研究所空間表現メディア研究部に所属。



さわはた やすひと
澤畠 康仁

2003年入局。同年より放送技術研究所において、視線や脳活動による心理状態推定技術の研究、3D映像の知覚・認知に関する研究に従事。2006年から2008年まで（独）情報通信研究機構に出向。2008年から2010年まで（株）国際電気通信基礎技術研究所（ATR）脳情報研究所に出向。現在、放送技術研究所空間表現メディア研究部に所属。博士（情報理工学）。



さかい あきひろ
界 瑛宏

2018年入局。秋田放送局を経て、2020年から放送技術研究所において、認知科学の研究に従事。現在、放送技術研究所空間表現メディア研究部に所属。



ほらさわ まさみつ
原澤 賢充

2006年入局。同年より放送技術研究所において、視覚などの感覚入力に対する人間の情報処理過程と映像技術を結び付ける研究に従事している。専門は視覚の心理物理学と人間の知覚・認知の実験心理学。現在、放送技術研究所空間表現メディア研究部エキスパート。博士（情報科学）。



はら かずひろ
原 一宏

2010年入局。福井放送局を経て、2013年から放送技術研究所において、3次元映像符号化、認知科学、広視野高精細映像の研究に従事。現在、放送技術研究所テレビ方式研究部に所属。



こみね かずてる
小峯 一晃

1992年入局。放送技術局を経て、1994年から放送技術研究所において、文字画像の受容特性、テレビ用ユーザーインターフェース、視線や脳活動による心理状態推定技術、3次元映像の知覚・認知に関する研究に従事。現在、放送技術研究所空間表現メディア研究部チーフ・リード。博士（工学）。

適応型奥行き圧縮による 3D像の品質改善

澤島康仁 宮下山斗 小峯一晃

Improving 3D Image Quality Using Adaptive Depth Compression

SAWAHATA Yasuhito, MIYASHITA Yamato and KOMINE Kazuteru

概要

空間像再生型3次元（3D）ディスプレイは、特別なメガネを必要とせず、裸眼で3D像を再現できる3Dディスプレイの一つであるが、高品質に再現できる奥行き情報に限りがあるため、特に奥行きが深いシーンの表示に課題があった。奥行き圧縮は、表示する3Dシーン・モデルに対して人の奥行き知覚特性を考慮した特殊な変形により、見た目の不自然さを感じさせずに、シーン全体を狭い奥行き範囲内に収める技術である。これにより、空間像再生型3Dディスプレイの奥行き再現能力を仮想的に強化し、深い奥行きを持つさまざまなシーンの高品質な表示を可能とした。本報告では、さらに本技術を拡張した、適応型奥行き圧縮について述べる。適応型奥行き圧縮は、奥行き圧縮の従来の特徴を維持しながら、特定の物体の奥行き感を強調したいなどの映像制作者の要望に応えることを可能とする。具体的には、主要な被写体が移動するアニメーションを含む3Dシーンにおいても、特定の被写体に十分な奥行き量を常時配分することを可能とする。主観評価実験を通し、従来の方法よりも強い奥行き表現が提供できること、より好ましい3D映像表現が提供できることが分かった。これらの結果は、提案法が将来の3Dテレビメディアとして、空間像再生型3Dディスプレイの可用性を高めるものといえる。

ABSTRACT

Light-field displays can provide natural 3D visualization without the need for special 3D glasses, but they have a critical limitation in reconstructing significant depth of field, making it difficult to display deep 3D scenes on the display. Depth compression is a special method of deforming 3D models or scenes that takes into account the characteristics of the human visual system, allowing the entire scene to be fit into a narrower depth range so that the deformation is not visually noticeable. The introduction of depth compression has virtually enhanced the depth reproduction capability of displays, enabling high-quality display of scenes with various depths. In this report, we introduce an adaptive depth compression method that enables content creators to express their intentions, such as enhancing the depth of a specific object, in 3D views. The method can allocate sufficient depth to specified objects even in animation scenes where characters locomote freely. Through subjective evaluation experiments, we found that the method can provide a stronger sense of depth and preferable 3D expressions. These results suggest that our method will expand the availability of light-field displays in future 3DTV services.

1. はじめに

3次元（3D）テレビは、将来の放送サービスを担うメディアの候補の一つである。インテグラル方式やライトフィールド方式と呼ばれる空間像再生型3Dディスプレイは、その場に物体がある状況と同様の光線空間を再現することができる^{1)~3)}。本方式は、特別なメガネを必要としないため、現在の日常的なテレビ視聴と同様のスタイルを変更することなく、3Dならではの高い実在感と臨場感の提供が期待できる。

しかし、現在のライトフィールド技術は、ディスプレイを構成するデバイスの光学的・物理的な制約により、高品質に表示できる3Dシーンの種類に限りがある。具体的には、最新の技術を用いても、ディスプレイが高品質に像再生できる奥行き範囲はたかだか数10cm程度に限られているため、それを超える奥行きを持つシーンは品質を落とすことなく像再生することが困難である⁴⁾。したがって、私たちが日常的に視聴しているテレビで見ると、奥行きが深いシーン（風景やスポーツなど）は、まだ十分な品質で表示することが困難な状況といえる。

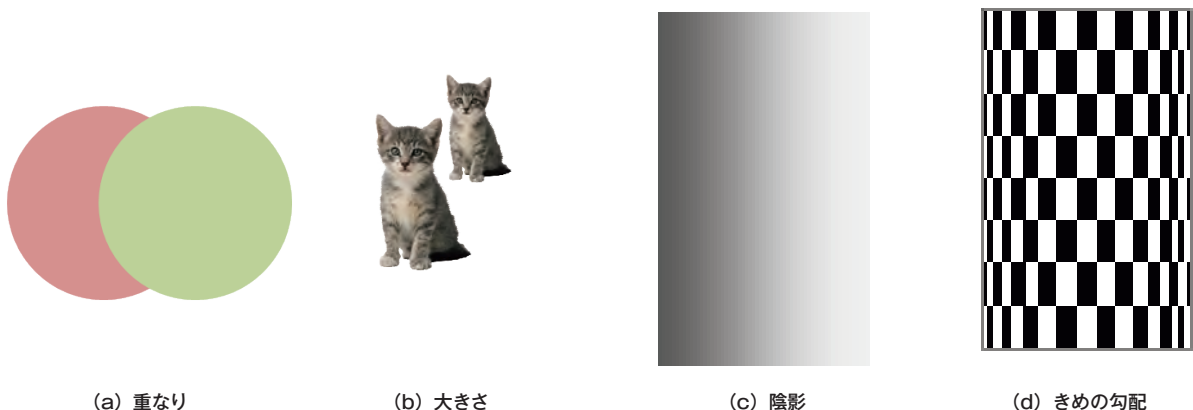
奥行き圧縮は、ディスプレイの奥行き再現能力を超えてより深い奥行きのあるさまざまな3Dシーンの高品質な表示を実現する技術である^{5)~8)}。本技術は、3Dシーンのジオメトリー（Geometry：幾何情報）が既知であることを前提とし、ある関数に従ってシーン内のすべてのオブジェクトの形状や配置を操作することで、ディスプレイが十分な奥行き再現能力を持つ狭い奥行き範囲の中にシーン全体を収める^{2)9)~11)}。この幾何学的な操作の方法は、観察者が再生像に不自然な歪みを感じないように設計であることが特徴である。これまでの研究^{5)~8)}では、元は奥行きが100 m以上あるシーンを、不自然な歪みを感じさせずに奥行き10～100 cm程度（ディスプレイの

サイズに依存）にまで圧縮可能であることが示されている。

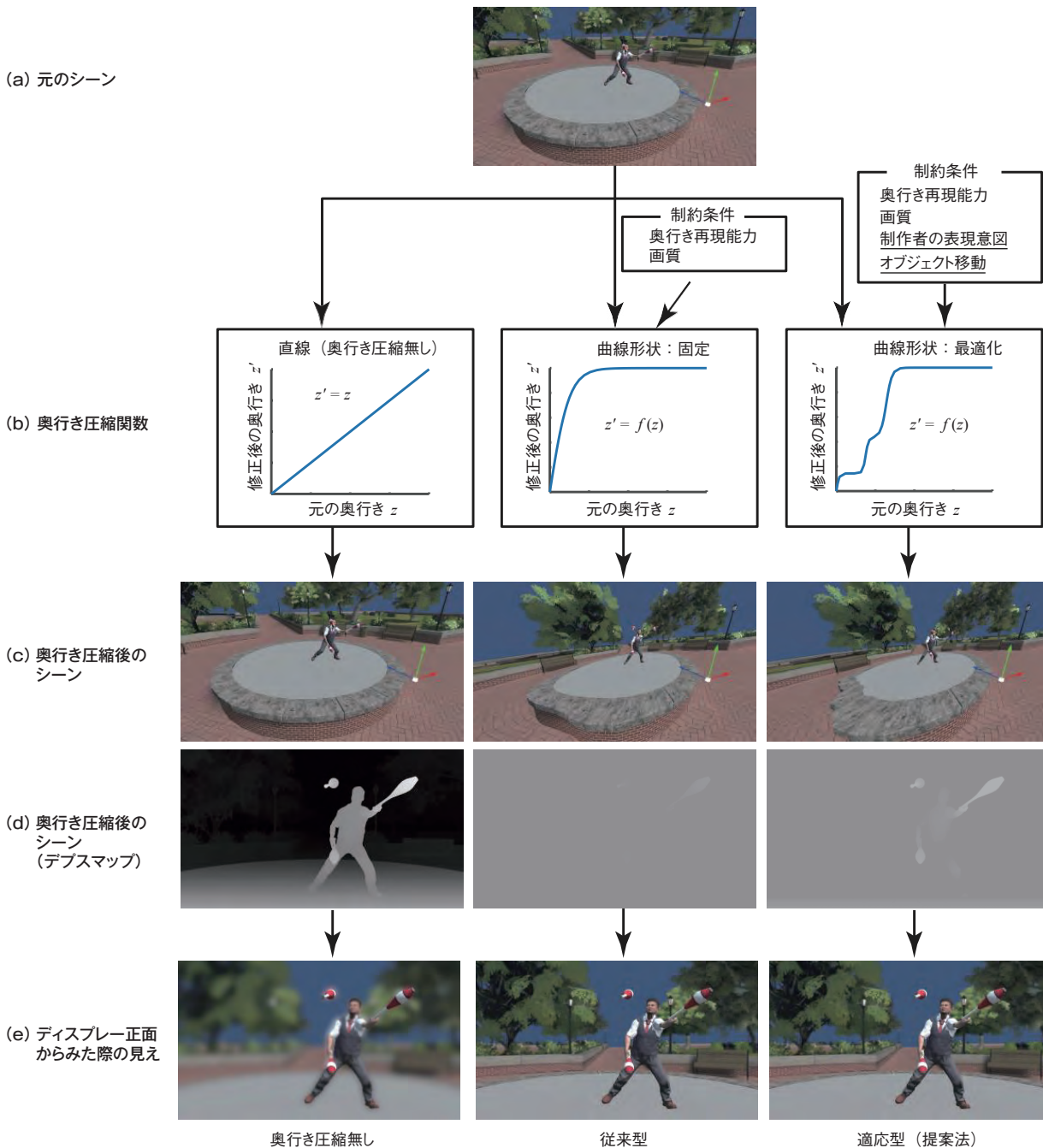
奥行き圧縮は、人の視覚特性を考慮しながら、3Dシーン内のすべてのオブジェクトに対して不自然さを感じさせない幾何学的な操作を行なう。人の3D空間知覚は、さまざまな感覚情報による手がかりの統合に基づくといわれている^{12)~14)}。この際、複数の手がかりの間に矛盾があっても、事前知識に基づき、3D形状としてもっともらしい解釈をもたらすことが知られている。奥行き圧縮は、この人の3D空間認識の柔軟性を積極的に利用する。空間知覚は、主に生理的の手がかり（両眼視差、^{ふくそう}輻輳*1・調節*2）と絵画的の手がかり（重なり、大きさ、陰影、きめの勾配など）をもとに行われている（1図）*3。幾何学的な操作の際に、これらの手がかりのいくつかを維持できれば、総合的な空間知覚への影響の抑制が期待できる。実際、観察者の視点位置を限定できれば、パースペクティブ（Perspective：遠近法）を維持した幾何学的な操作によって、絵画的の手がかりについては完全に保存することができる。

奥行き圧縮における3Dシーンの幾何学的な操作は、ディスプレイが持つ奥行き資源をシーンのどの位置に配分するか決定と等価である。すなわち、奥行き方向に押しつぶす（圧縮する）変形を加えることは、その箇所

- *1 奥行き位置の異なる対象物に視線を移動した際に左右の眼球がそれぞれ同時に反対方向に回転する眼球運動のこと。
- *2 対象物までの距離に応じて、眼球の水晶体がその厚みを変え、焦点距離を変えること。
- *3 絵画的な手がかりの例としては、(a) 重なりによって奥のものが遮蔽されることや、(b) 手前のものが大きく、奥のものが小さく見えることに基づいても、ものの相対な奥行き位置の情報を与える。また (c) 光の当たり方、影の落ち方によっても、ものの凹凸やその奥行き位置を推定することができる。さらに、(d) もの模様徐徐に密になるような変化が観察されたとき、その面が奥行きのある面として見えるため、奥行き手がかりとなる。



1図 絵画的奥行き手がかりの例



2図 従来型・適応型奥行き圧縮の比較

への奥行き配分を減少させることに相当する。これまでの研究は、奥行き弁別特性の距離依存性（距離が近いときには感度が高く、遠いときには感度が低い¹⁵⁾¹⁶⁾に基づき、奥行き資源をシーンの手前には多く、遠くには少なく配分する方式を採用することで、物理的には狭い奥行きで、主観的に深い奥行きの提示に成功している^{5)~8)}。

しかしながら、この奥行き資源の配分方法は、常に最適であるとは限らない。例えば、特定のオブジェクトに対して、奥行き位置にかかわらず常に十分な量の奥行き資源を配分したいという特別な表現意図がある場合は、従来の奥行き圧縮ではその要望に応えることができな

い。従来型では、奥行き資源をオブジェクトではなく、シーン内の場所に対して配分していたため、このような要望に応えることができなかった。

本報告では、従来手法と同様、高品質な3D像再生を行いながら映像制作者の演出上の要望にも応えることのできる、新しい奥行き圧縮方法を提案する(2図)*4。2図右の提案法では、ディスプレイの奥行き資源を、演出上重要でないオブジェクトに対しては配分を抑え、強調したいオブジェクトに対して重点的に配分することを可能とする。一方、観察者に画面全体を見せる意図があれば、シーン内のオブジェクトに均等に奥行き資源を割

り振ることも可能である。この奥行き資源の配分決定は、2次元画像の撮影における被写界深度の調整による表現の選択（背景をぼかす、パンフォーカス^{*5}にするなど）に類似した操作といえよう。提案法は、3Dディスプレイで深い奥行きを高品質に再生するための技術としてだけでなく、制作者の意図を3D像に的確に反映するための表現技法とみることできる。

表現意図を考慮した奥行き圧縮表現は、3Dディスプレイの性能と画質の制約下で、表現意図を最大限反映する、制約付き最適化問題の解とみることができる。すなわち、奥行き圧縮表現の決定は、奥行き配分ルールを定めた“奥行き圧縮関数”の形状を決める最適なパラメータ値の探索に相当する。従来研究^{5)~8)}では、奥行き圧縮関数として、指数関数的な単調飽和曲線であるシグモイド関数（Sigmoid Function）を用いていたが、本手法では、複数のシグモイド関数の線形和として奥行き圧縮関数を再定義する。多くのパラメータで定義される複雑な形状を持つ曲線となるが、映像制作者の意図する多様な要望に応えることができる。これらのパラメータは、シーン内のオブジェクト移動などに対応するため、フレームごとに最適解を高速に算出する必要がある。

本報告では、奥行き圧縮像に映像制作者の意図を反映することができる、適応型奥行き圧縮を提案し、その実装と評価について述べる。客観評価では、選択したオブジェクトに対して、従来手法以上に多くの奥行き資源を配分できることを示す。主観評価では、提案法で生成した3D像が、従来型よりも深い奥行き感と、より好ましい表現を提供できることを示す。以上から、適応型奥行き圧縮が、空間像再生型3Dディスプレイの3D表現能力を拡張し、将来の3Dメディアの実現に寄与しうるとを示す。

2. 関連研究

奥行き手がかりを個別に操作することで、空間像再生型3Dディスプレイの奥行き再現能力に関連する課題へ対処する試みは、これまでもいくつか提案がなされている^{2)9)~11)}。また、奥行き手がかりの操作は、ステレオ（2眼立体）映像の制作において、輻輳と調節の不一致^{*6}によって生じる不快感を考慮しながら、立体感や臨場感を演出する目的で、現在も広く用いられている^{17)~19)}。ここでは、奥行き圧縮表現に関連する従来型について概説し、適応型奥行き圧縮と従来技術との差異とその評価方法について述べる。

ステレオ映像の視差量の決定方法として、Langらは、

視覚的な顕著性に基づき、視差量を自動調整する視差量再配分関数を導入し、コンテンツの内容に合わせて視覚像を調整する概念を提案した²⁰⁾。視差量再配分関数の設計は、奥行き知覚量と視覚的不快感の抑制に顕著な影響を与えることが示されている^{17)~19)}。空間像再生型ディスプレイを対象としたものでは、Zwickerらの、ライトフィールド測定系における、カメラ配置の最適化の研究がある¹⁰⁾。このカメラ群の配置の決定は、光線を密に計測する空間内の箇所を決定することに相当する。これは、ディスプレイの奥行き資源を、空間内のどの位置に配分するかを決める関数の設計と本質的には等価な操作である。Masiaらは、奥行き手がかりの操作を、人の知覚に基づく多目的最適化問題として扱うフレームワークを提案している²¹⁾。人が感じる奥行き感をなるべく維持するとともに、3D像の画質劣化を最小限に抑えるという目的関数のもと、奥行き手がかりの最適操作方法を決定した。ただし、目的関数として制作者の表現意図を明示的に扱う枠組みとはなっていない。

これまでの奥行き操作手法は、無限遠を含む任意の深さの奥行きがあるシーンを想定する必要がある3次元テレビサービスでの利用には、必ずしも適当であるとは言えない。前述の研究における奥行き操作のアプリケーションは、操作量としては小さな範囲に抑えられている。例えば、映画館のような大画面を想定して制作されたステレオ映像を、スマートフォンのような小画面での表示に適した形式に変換する、コンテンツリターゲティング（Content Retargeting）という技術がある^{21)~23)}。ステレオ映像では、映画館などの大画面用に最適化された映像を、スマートフォンなどの小画面ディスプレイに表示しても、ステレオ効果が大きく異なる。そのため、画面サイズが変わっても、視聴者が感じる効果を同様に提供するために、奥行き手がかりの調整が行われる。ここで、コンテンツリターゲティングで想定される奥行き手がかりの操作量は、将来のテレビサービスとして要求されるものに比べて、非常に小さなものである。テレビサービスでは、任意の深い奥行きを持つシーンの表示を想定する必要がある。すなわち、無限遠を含む深い奥行

* 4 (a) 座標軸は奥行き圧縮の原点を表し、赤・緑・青の矢印は、それぞれx軸、y軸、z軸方向であり、特にz軸方向が奥行き方向を表す。(b) 奥行き圧縮無し（左）、従来型（中央）、適応型（右）の奥行き圧縮関数の例である。(c) 奥行き圧縮を施した際のシーンの形状と (d) 輝度の暗さが奥行き深さに対応する。(e) 奥行き圧縮無し（左）は、ぼやけが大きくなってしまふ。奥行き圧縮の原点からシーンを観察した際は、従来型（中央）も適応型（右）も同様に見える。しかし、両眼視した場合はその限りではない。

* 5 遠景から近景までピントが合った画像のこと。

* 6 目の調節（ピント）の位置は常にスクリーン面上にありながら、輻輳位置は両眼視差によってスクリーン面から大きく離れるという現象。

きを、数メートル以下の狭い範囲にまで圧縮することが要求される。一般に、奥行き手がかりの操作量が大きければ大きいほど、観察者が感じる不自然さが強まる。したがって、狭い奥行き範囲での操作が前提である従来の奥行き操作手法を、3次元テレビサービスが想定するコンテンツにそのまま利用することは難しい。

奥行き手がかりの操作がもたらす効果の測定は、客観的手法と主観的手法の両方が用いられている^{21)~26)}。奥行き手がかりの操作によって生じるぼやけやアーチファクト（ノイズ）は、画像類似度の指標であるSSIM (Structural Similarity Index Measure)²⁷⁾や元画像との差異を平均二乗誤差^{*7}で測るなどの客観指標で評価されることがある。一方で、奥行き感や3D表現の好ましさは、これらの客観指標で捉えることは難しい。3次元像の効果の評価は、主観的な印象を尋ねることによる評価が主流である²⁸⁾。

しかし、立体感や臨場感などのような高次なコンセプトに基づく主観評価は、評定者の個人的な好みや経験などにも依存することが想定されるため、精度の高い評価の実現には、適正な実験設計が求められる。このような課題に対し、Leeらは主観評価では、絶対評価よりも一対比較の手法^{*8}の方が、安定的で信頼性の高い結果が得られることを、計算モデルによるシミュレーションによって示している²⁹⁾³⁰⁾。本報告における実験においても、適応型奥行き圧縮が与える3D表現の奥行き感と好ましさをの効果を一対比較によって評価した。

3. 奥行き圧縮表現技術

3.1 適応型奥行き圧縮

奥行き圧縮は、3Dシーン内のジオメトリを修正し、シーン全体をより狭い奥行き範囲内に収める技術である。この際、3Dシーンは、3Dデータとして表現されていることが前提である。ディスプレイを観察する人からは、その不自然な変形が感じられないように奥行き情報を削減し、ディスプレイの奥行き再現能力の範囲内に収めることで、再生像の主観品質向上を実現する^{5)~8)}。

オブジェクト形状の修正は、奥行き情報の再配置ルールを定める“奥行き圧縮関数”に基づき、3Dモデルの頂点座標を移動することで行う。すなわち、奥行き圧縮関数は、ディスプレイ面に垂直な方向をz軸としたとき、頂点のz座標値を別のz座標値にマッピング（写像）する関数である。従来型での奥行き圧縮関数は、観察者に近い奥行き位置ではマッピングによる移動量が少ないが、遠い位置になるほど移動量が多く、ある奥行き位置

に漸近する非線形曲線として定義していた。この奥行き圧縮関数では、観察者の近くに配置されているオブジェクトはほとんど変形しないのに対し、遠くに配置されているオブジェクトは板状に変形することになる。すなわち、従来型におけるオブジェクトの変形量（圧縮率）は、観視位置からの相対的な位置で決めていた。

本報告で提案する奥行き圧縮関数は、従来のもを拡張したものである。具体的には、従来型で単一のシグモイド関数によって定義していた奥行き圧縮関数を、提案法では式(2)に示すように、複数のシグモイド関数の重み付き線形和として定義する。ここで、 $p=(x,y,z)$ を空間内の任意の頂点座標位置とし、観察者が原点 $p=(0,0,0)$ に配置されていたとすると、奥行き圧縮関数によってマッピングされた頂点座標 p' は次のように書ける。

$$p' = (x', y', z') = \left(\frac{z'}{z} x, \frac{z'}{z} y, f(z) \right) \quad (1)$$

$$z' = f(z) = D_z \sum_{i=0}^N d_i \tanh \left(\frac{a_i}{d_i D_z} (z - b_i) \right) + c \quad (2)$$

ここで、 $a_i, b_i, c, d_i, D_z (0 \leq i \leq N)$ は、奥行き圧縮関数のパラメーターのセットである。 a_i は、 $z=b_i$ における $f(z)$ の傾きを調整するパラメーターである。 $z=b_i$ は、 i 番目として選択したオブジェクトの奥行き位置を表す。なお、 $f(z)$ の傾きは、その奥行き位置における奥行き圧縮の程度を表す。傾きが1のときは、 z の位置にあるオブジェクトの形状に歪みは生じない（スケール以外のジオメトリは保存される）ことを意味する。傾きが0のときは、最も強い圧縮となり、オブジェクトは板状に圧縮されることに相当する。 d_i はオブジェクト i に配分する奥行き量の割合であり、 $\sum_{i=0}^N d_i = 1, d_i > 0$ を満たす。 D_z はディスプレイが再現する奥行き範囲（奥行き資源）によって決まる値である。 N は奥行き配分を受ける可能性のあるオブジェクト数を表す。ここで $N=0$ のときは、従来型による奥行き圧縮と等価となる。したがって、式(1)と(2)は、 $z=b_0, \dots, b_N$ の奥行き位置に対して、 a_0, \dots, a_N と d_0, \dots, d_N で記述される奥行き量を配分する操作を行っている。ここで切片項 c は、修正後の座標位置を奥行き方向に調整するためのパラメーターである。

奥行き圧縮関数（式(1)と(2)）は、3Dディスプレイ

*7 推定量の誤差の平方を平均した値、すなわち推定値と実測値の二乗誤差の平均のこと。

*8 選択肢2つを一組とし、どちらを選択するかについての比較結果を統合することで評価を行う方法。

正面からの見えをできる限り維持しながら、シーンのジオメトリを修正する。実際、奥行き圧縮の原点で観察者が単眼視した際には、像の見えを奥行き圧縮前後で完全に一致させることができる。式 (1) において奥行き位置の更新を補償する x - y 座標値の修正によって、絵画の手がかりが維持されているためである。しかし、一般には観察者は両眼視をするため、奥行き圧縮の原点から像を観察することはできない。提案法では、観察者の観察位置を常時計測し、両眼の中心を奥行き圧縮の原点とする、「動的」奥行き圧縮を用いる⁷⁾⁸⁾。本手法でも、両眼視によって、観察者がオブジェクト形状の変形を知覚する手がかりは残されている。しかし、奥行き圧縮の原点を常時更新し、その位置が両眼の中心となるように設定することによって、視点位置の移動があっても、不自然な変形による主観画質の低下を最小限に抑えることができる。

奥行き圧縮関数のパラメーター値は、ディスプレイに表示される3Dコンテンツの表現を決定する。例えば、制作者がオブジェクト j を強調して表現したいとする。これは、そのオブジェクトの奥行き位置 $z=b_j$ に多くの奥行き量を配分することで実現できる。すなわち、 a_j を 1 に近い値とし、奥行き配分割合を決める d_j を、他のオブジェクト ($d_{i \neq j}$) よりも大きくすればよい。しかし、このパラメーター値をそのまま採用することは、特にディスプレイの奥行き再現能力に強い制限があるときや、オブジェクトが移動する動的コンテンツが表示対象である場合、不自然な変形による主観画質の低下につながる。コンテンツの移動に合わせて、表現意図と画質からなる複数の基準を満足できるようにパラメーター値をリアルタイムに更新する必要がある。

3.2 奥行き圧縮関数の最適化

ディスプレイの奥行き再現能力の制約のもと、適正な画質で意図する奥行き表現を実現する、奥行き圧縮関数のパラメーターセットを見つける手続きは、制約付き最適化問題とみなせる。ここでは、本問題を次のように定式化する。奥行き圧縮関数のパラメーターのセットを $\theta = (a_0, \dots, a_N, b_0, \dots, b_N, d_0, \dots, d_N)$ として記述する。このとき、最適解 $\hat{\theta}$ は、

$$\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} \|\theta - \theta_p\| \quad (3)$$

となる。ここで θ_p は、映像制作者の表現意図に対応するパラメーターセットである。式 (3) の最適解は $\hat{\theta} = \theta_p$ であるが、実際には画質とディスプレイの奥行き再現能力

の制約のもと導出されるため $\hat{\theta} \neq \theta_p$ となる。画質に基づく制約条件として、奥行き圧縮関数の傾きは任意の z において 1 を超えないこととした。すなわち、

$$f'(z) < 1 \quad (4)$$

$$f'(z) = \sum_{i=0}^N a_i \left(1 - \tanh^2 \left(\frac{a_i}{d_i D_z} (z - b_i) \right) \right) \quad (5)$$

をすべての z で満たす。ここで式 (5) は、公式 $(\tanh(z))' = 1 - \tanh^2(z)$ に基づく。本制約による効果は 3 図^{*9)} に例示される。ディスプレイの奥行き再現能力(解像度高く像再生ができる奥行き範囲)を変数 D で表現する。 b_0 を 3D シーン内の奥行き圧縮前のある奥行き位置とする (3 図 (a))。奥行き圧縮後の奥行き位置は、 $f(b_0)$ であらわされる。ここで、 $f(b_0)$ は、ディスプレイが再現できる奥行き範囲の最前面とする。元シーンにおける無限遠は、奥行き圧縮後には $f(z)|_{z \rightarrow \infty}$ と表現できるため、 D は、次のように表せる。

$$D = f(z)|_{z \rightarrow \infty} - f(b_0) \quad (6)$$

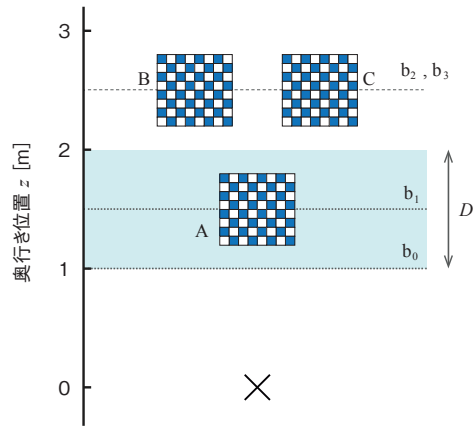
これにより、すべての頂点座標は、式 (6) の範囲の中に収まることになる。

実際には、制作者の表現意図、およびコンテンツは動的に変化すると想定されるので、最適なパラメーター値のセットは、コンテンツの進行に合わせて常に更新し続ける必要がある。しかしながら、非線形関数と不等式を含む制約式のもとで最適解を得るには、反復計算による数値探索が必要となる。さらに、この数値探索計算は、フレーム内で処理を完了する必要があるため、高速に行う必要がある。そこで、本研究では、高速な収束を期待したヒューリスティックな探索手法 (Heuristic Search)^{*10)} を導入する。ここでは、数値探索の初期パラメーターを $\theta = \theta_p$ 、 $D_z = D$ とし探索を行い、表現意図 θ_p 近傍の局所解を最適解とした。

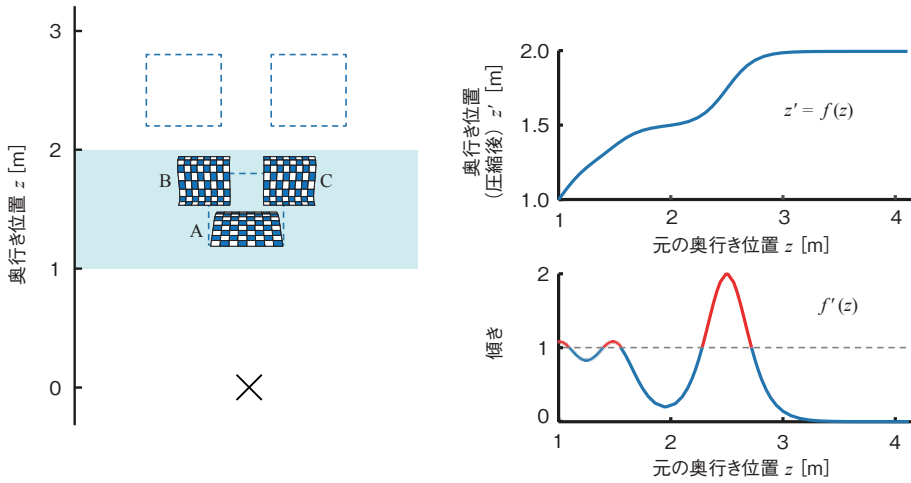
表現意図の入力では、対象オブジェクトの選択や奥行き量の指定が必要である。ここでは、音声ミキサーを流用し、複数のスライダーからなるインターフェースを用

*9 ×印は奥行き圧縮の原点を表す。3つのオブジェクト (A, B, C) は、A が前面B, Cが背後に並列に配置されている。水色の領域は、ディスプレイが再現できる奥行き範囲 D を表す。奥行き再現範囲の最前面の奥行き位置を b_0 、各オブジェクトの奥行き位置を b_1, b_2, b_3 とする。(b) と (c) のオブジェクトの厚みは、奥行き圧縮関数の傾きに対応する。傾きが 1 を超える赤の曲線部分は、奥行きを伸長する操作に対応し、通常は不自然な見えの原因となる。

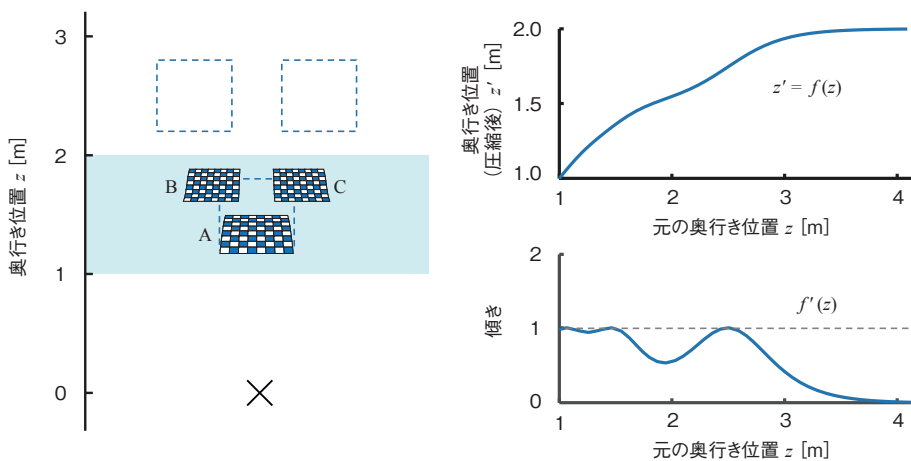
*10 経験や直感を用いた探索手法であり、ある程度正解に近い答えを得ることができる。



(a) 元のシーン（配置の上面図）



(b) 奥行き圧縮適用後（最適化なし）



(c) 奥行き圧縮適用後（最適化あり）

3図 奥行き圧縮関数の最適化

いた。表現意図に関連するパラメーターセット θ_p を構成する多数のパラメーター値は、スライダーを操作することによって、リアルタイムに調整が可能である。なお、パラメーターセット中の、奥行きを配分する奥行き位置を指定するパラメーター (b_i) は、あるオブジェクトに奥行きを配分し続けたい場合には、オブジェクトの移動に追従して値を更新する必要がある。手作業でパラメーター値を更新し続けることは通常困難であるため、対象オブジェクトを指定して、オブジェクトの位置を追跡し、自動的に b_i を更新する機能も実装した。これにより、アニメーションが含まれるシーンであっても、簡単に奥行きを配分し続けることができる。

4. 評価実験

適応型奥行き圧縮は、空間像再生型3Dディスプレイの限られた奥行き資源を効果的に配分する方法を提供する。提案法の効果を示すために、客観評価および主観評価を行った。

4.1 客観評価

(1) 刺激

ジャグリングとダンスシーンで構成される3DCGアニメーションを用いた。いずれもジャグラーとダンサーの動きをモーションキャプチャーで測定した動きを、CGアバターに適用し制作したものである。ジャグリングシーンは、公園内の野外ステージでジャグラーがクラブジャグリングをするものである。ダンスシーンは、3人のダンサーが同じ野外ステージでチームダンスを披露するものである。両シーンとも、CGアバターが奥行き方向に移動を繰り返すことが特徴（5.1節参照）である。

(2) 奥行き圧縮パラメーター

それぞれのシーンで主な被写体（ジャグラーと2本のクラブ、3人のダンサー）を選択し、それぞれに均等に奥行き配分を行うこととした。公園の樹木やベンチなどの背景オブジェクトは、明示的に選択されていないため、奥行き配分の優先度は低く設定されたことになる。

異なる奥行き再現能力を持つディスプレイでの奥行き圧縮の効果を比較するために、ディスプレイの奥行き再現能力として、 $D = 0.5, 1.0, 2.0$ mの3つの奥行き範囲を設定した。これらの値は、事前の実験に基づいて決定したものである。

従来型の奥行き圧縮は、適応型奥行き圧縮の特別なパラメーター設定に対応する。ここでは、式(2)におい

て $N = 0, a_0=1, d_0=1$ とし、 b_0 は、ディスプレイが再現する奥行き範囲の最前面とすることで従来型相当の奥行き圧縮を行った。

適応型奥行き圧縮では $a_i=1, d_i=1/4$ ($i \in 0, \dots, N(N = 3)$)とし、 b_i はそれぞれ選択したオブジェクトの奥行き位置とした。また、 b_0 は従来型奥行き圧縮と同じ値とした。これらのパラメーター設定は、ディスプレイの奥行き資源を、3つの選択オブジェクトに均等に割り振るという設定である。

(3) 装置

十分なCGレンダリング性能を備えたワークステーション (Intel Xeon Gold 6152, GeForce RTX) を用いて、奥行き圧縮像を生成した。ソフトウェアはUnityを用いて作成した。客観評価はレンダリングソフトウェア内ですべて完了する。

(4) 分析方法

奥行き圧縮の性能を測る指標として、“奥行き圧縮係数”を定義した。奥行き圧縮係数は、奥行き圧縮前のオブジェクトの奥行き量（厚み）と、奥行き圧縮後の奥行き量の比である。強く奥行き圧縮を行った場合は、奥行き圧縮係数の値は小さく、元の奥行きが維持されている場合は、1の値をとる。ここでは、選択オブジェクトの奥行き圧縮係数をそれぞれ計算し、それぞれのディスプレイ設定 D の元でその効果を比較する。

4.2 主観評価

奥行き圧縮表現の主観評価は、奥行き感の評価と、3D表現の好ましさに関する評価の2種類に着目した。奥行き感の評価は、2つの評価映像のうち、どちらにより強い奥行き感を感じたかを尋ねるものである。3D表現の好ましさの評価は、実験参加者個人にとって、どちらが好きな表現であったかを答えるものである。

(1) 刺激

奥行き感の評価においては、12種の静止した3Dシーンを用いた。これらは、ジャグリングとダンスの映像から均等の時間間隔で抽出した6つのスナップショットである。これらのシーンは、 $D=0.5, 1.0, 2.0$ mの3つの奥行き範囲に収まるように奥行き圧縮を適用して表示した。したがって、実験参加者は、72種類の刺激 (= 12シーン × 3種の奥行き範囲 × 2種類の奥行き圧縮法) を観察した。

3D表現の好ましさの評価では、2つの映像の初めの



4図 実験装置

6秒間を評価映像として用いた。毎秒60フレームで提示した。実験参加者は、12種類の刺激（= 2シーン×3種類の奥行き範囲×2種類の奥行き圧縮法）を観察した。

(2) 奥行き圧縮パラメーター

客観評価実験で用いたものと同じ値を設定した。

(3) 実験参加者

20歳から39歳までの正常な視力を持つ男女8名ずつ、合計16名が参加した。すべての参加者が、実験参加の同意書に署名した。本実験は、当所の心理・生理実験審査委員会で承認されたものである。

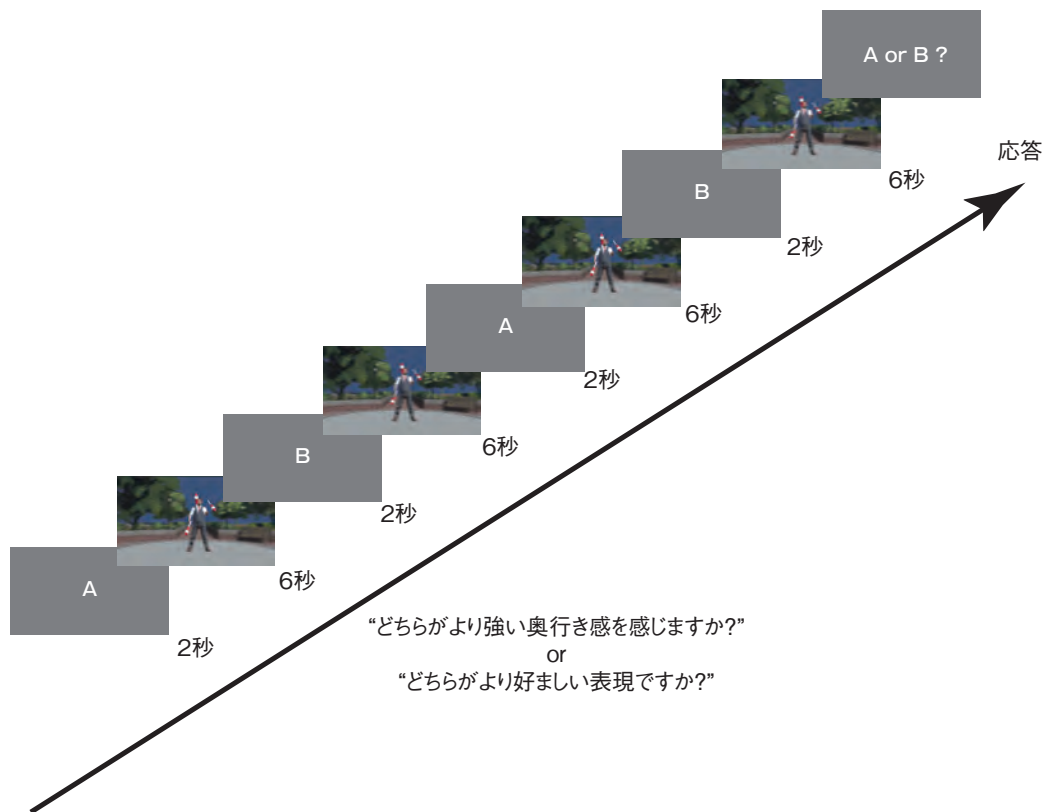
(4) 実験装置

奥行き圧縮を適用した3D像をぼやけによる干渉無く評価するために、両眼視差と運動視差をシミュレートした空間像再生型3Dディスプレイのシミュレーターを用いて実験を行った（4図）。本シミュレーターは、偏光メガネ方式の55インチステレオディスプレイ（LG製55UF9500）と光学式のモーショントラッカー（OptiTrack）を組み合わせ、空間像再生型3Dディス

プレーの主要な特徴である両眼視差と運動視差を提示した。本実験装置は、空間像再生型3Dディスプレイが提示できる調節手がかりを提示することができないが、奥行き圧縮による3D像の変形に起因する効果の評価には大きな影響はないとして、従来研究^{5)~8)}における利用実績がある。実験参加者は、ゲームパッド（Xbox360コントローラー）を用いて評価を入力した。

(5) 実験手順

奥行き感の評価では、2つの提示刺激のうち、より奥行き感を感じた方を答える。実験参加者は、1セッションあたり6回の試行から成るセッションを、合計12セッション行った。各試行では、2つの異なる奥行き圧縮方法によって生成された刺激が、時系列的に2回ずつ、それぞれ6秒表示された（5図）。具体的には、2つの刺激提示期間をAとBとすると、AとBそれぞれに対する6秒間の提示期間が、A、B、A、Bの順番で、グレー画像の2秒間のインターバルを挟んで表示された。実験参加者は、刺激を観察したあとに手元のゲームパッドで、AもしくはBのどちらが奥行き感を感じたかを応答した。実験参加者は、ディスプレイから1.5H（画面高の1.5



5図 実験の手順と課題（1試行）

倍=1.04 m) の離れた位置に設置した椅子に座って映像を観察した。椅子から離れない範囲で、自由な視点移動を許容した。

3D表現の好ましさの評価では、アニメーション刺激を用いた。手順は奥行き感の評価と同様で、刺激選択の判断基準が、どちらが好きな表現であるかとするように教示した。参加者は、6試行からなるセッションを2セッション行った。

いずれの評価においても、順序効果を考慮するため、全試行のうち半数は、その半数の逆順で提示した。具体的には、ある試行において刺激提示区間Aで表示された刺激は、別の試行においては刺激区間Bで提示された。したがって、実験参加者は、奥行き感評価を72試行（=12シーン×3種の奥行き範囲×2種の提示順）を12セッションに分けて実施し、3D表現の好ましさ評価を、12試行（=2シーン×3種の奥行き範囲×2種の提示順）を2セッションに分けて実施した。各試行の提示順は、実験参加者ごとにランダム化した。

(6) 分析方法

従来型と適応型奥行き圧縮で生成した3D像を評価し、どちらを選択したのかのデータを収集した。各参加者は、同じ組み合わせとなる条件を2回（正順と逆順）評価し

ており、各刺激条件を最大2回選択する可能性がある。したがって、16名の参加者からデータを収集し、すべてのデータを集計すると、従来型と適応型奥行き圧縮のそれぞれは、各条件で最大32回選択される。

参加者らの応答は各条件において二項検定^{*11}によって評価した。もし、それぞれの奥行き圧縮の効果に差がない（帰無仮説が真）とすると、参加者らの応答は32回中平均16回選択されることになる。したがって、もし一方の奥行き圧縮法による3D像が、16回よりも有意に多く選択される場合は、その奥行き圧縮法に顕著な効果があるといえることができる。

多重比較³¹⁾による第一種の過誤の上昇を考慮するため、本分析では、二項検定によって取得する p 値^{*12}を、ボンフェローニ法^{*13}を用いて補正した。多重比較の回数は、奥行き感評価においては18回（=1シーン×6時点×3種の奥行き範囲）、3D表現の好ましさ評価におい

*11 2カテゴリデータ（コインを複数回投げた際の表面・裏面の出現回数など）における観測値の比率が、理論的な分布（二項分布）からどれくらい偏っているかを評価する検定方法。

*12 帰無仮説が正しいと仮定したときに、観測された値以上に極端な値が観測される確率のこと。

*13 仮説検定の多重性の課題に対処するための補正方法の一つ。多重性の課題とは、仮説検定を複数回平行して適用すると、棄却されるべき仮説を誤って採択する（第一種の過誤）確率が上昇し、複数回の仮説検定全体として結果を過大に見積もってしまう課題のこと。

ては3回 (= 1シーン×3種の奥行き範囲) であった。有意水準*¹⁴は5%と設定した。

5. 結果

5.1 客観評価

6図に各シーンにおいて選択したオブジェクトの奥行き位置と奥行き圧縮係数の時間変化を示す。選択オブジェクトは、ジャグリングシーンにおいては、シーン内の約1mの奥行き範囲(6図(a))を、ダンスシーンにおいては、2.4mの奥行き範囲(6図(d))を移動していることが読み取れる。いずれのシーンにおいても、適応型奥行き圧縮の方が、ほぼすべての期間において、奥行き圧縮係数を高く提示できている。これは、オブジェクトが移動する範囲が、ディスプレイの奥行き再現範囲 D を大きく超えるような状況でも同様であった。具体的には、奥行き再現範囲が $D=0.5$ mであっても、奥行き圧縮係数は常に0.6以上を保持し続けることができた。同様に、 $D=1.0, 2.0$ mの条件でも、奥行き圧縮係数は1に近い値を保持することが確認できる(6図(c)(f))。

一方、従来型における奥行き圧縮係数は、オブジェクトの移動の影響を強く受ける傾向がある(6図(b)(e))。特に奥行き再現範囲が狭い $D=0.5$ mのときに顕著であり、ジャグリングシーンでは特に奥行き圧縮係数が0から1の間で大きく変動した。 D がより大きな場合は奥行き圧縮係数の値の変動幅は緩和されるが、それでも、適応型よりもオブジェクト移動の影響を受けやすいことは同様であった。

7図に、 $D=0.5$ mと $D=2.0$ mのときの奥行き圧縮像の見えの例を示す。法線マップは、オブジェクト表面の法線ベクトルの方向を色で符号化したものであり、青、赤、緑、黒は、それぞれディスプレイ面に直交する方向、観察者向かって左方向、同右方向、上空方向を表す。強い奥行き圧縮がかかっている箇所は、板状に圧縮されているため、法線方向はディスプレイ面に直交する方向(青色)となる。従来型による奥行き圧縮は、適応型に比べて青色の領域が広い傾向があり、特に7図(h)左に示した $D=0.5$ mのダンスシーンでは、法線マップ上ほとんどの領域が青く染まっている。これは、ダンサーが完全に板状にまで奥行きを圧縮されて背景に埋もれていることを示す。それに対して、7図(h)右に示すように、適応型では青以外の色が依然として観察でき、ダンサーの奥行きが維持されていることを示す。 $D=2.0$ mの場合においては、従来型、適応型の両方とも、6図(b)(c)(e)(f)における奥行き圧縮係数が非ゼロの値をとって

いることから予測されるように、法線マップ上では青以外の色が観察できる。

5.2 主観評価

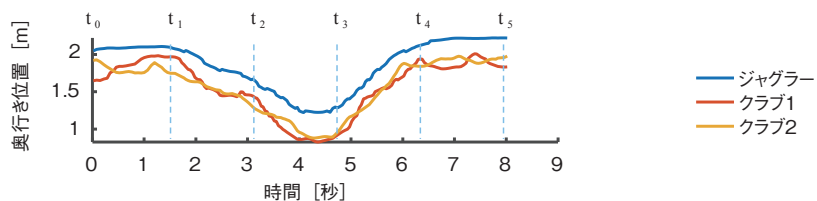
8図に、従来型と適応型奥行き圧縮によって生成された複数の3D像(静止画)のうち、どちらが強い奥行き感を引き起こしたのかを集計した結果を示す。24回以上の選択で帰無仮説は棄却(二項検定、多重比較の補正済み)され、適応型の手法が有意に強い奥行き感を提示できることを示している。ほとんどの場合で適応型奥行き圧縮が、従来型よりも強い奥行き感が提供できることが示された。ただし、 $D=2.0$ mで t_0 および t_1 時点の3D像に対しては、帰無仮説は棄却されず、適応型と従来型が奥行き感に与える効果は同程度と考えるのが妥当となった。

9図に、従来型と適応型奥行き圧縮によって生成された3D映像に対して、より好ましい(好きな)表現かを選択の集計結果を示す。この3D表現の好ましき評価においては、22回以上の選択で帰無仮説が棄却(二項検定、多重比較の補正済み)され、その手法が有意に好ましい表現を提供できることを示す。 $D=0.5$ mにおいて、適応型奥行き圧縮は、どちらのシーンでも、従来型よりも有意に好ましい3D表現を提供できることが示された。しかしながら、 $D=1.0$ mと 2.0 mにおいては、適応型奥行き圧縮が有意に好ましいといえるのはダンスシーンだけであった。

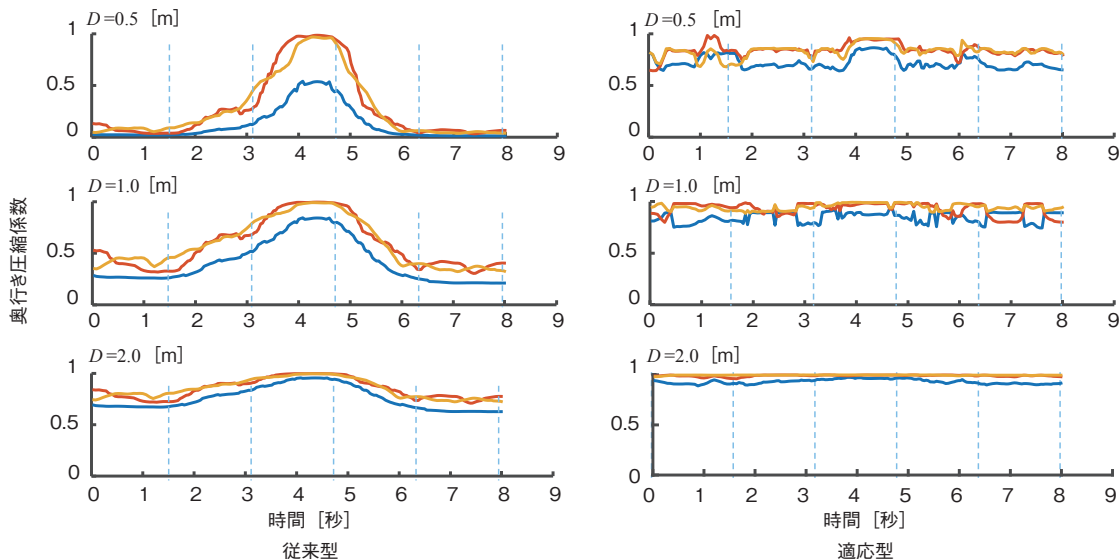
6. 考察

本報告では、客観・主観両面からの評価実験を通し、適応型奥行き圧縮によって、ディスプレイの奥行き資源を特定のオブジェクトに配分でき、それによってより強い奥行き感と好ましい3D表現を提供できることを示した。さらに、奥行き感に関する主観評価では、適応型奥行き圧縮は、ディスプレイが十分な奥行き再現能力を持つ場合には、表示シーンの内容によっては従来型とその効果に差がみられないこともあるが、再現能力が不十分な場合(D が小さい場合)は、常に強い奥行き感を提示できることも分かった。この傾向は、3D表現の好ましきの評価においても同様に見られた。これらの結果は、適応型奥行き圧縮は、従来型と比較して常に同等以上の体験を提供できることを示している。以上より、適応型

*14 帰無仮説が正しいとしたときに、誤って帰無仮説を棄却する確率に対応し、有意性を判断するための p 値の小ささの基準のこと。

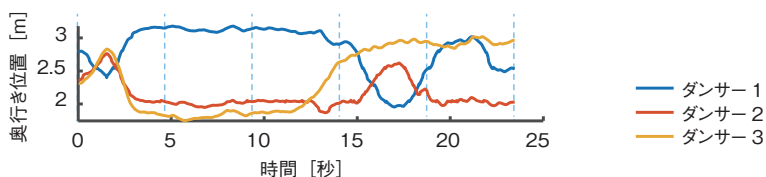


(a) 奥行き位置の時間変化 (ジャグリング)

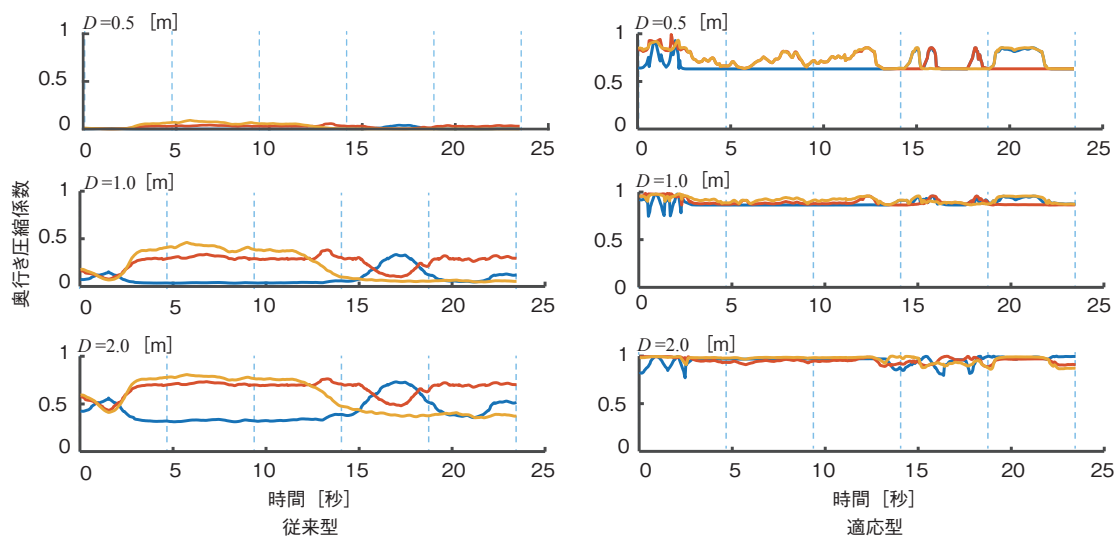


(b) 奥行き圧縮係数の時間変化

(c) 奥行き圧縮係数の時間変化



(d) 奥行き位置の時間変化 (ダンス)



(e) 奥行き圧縮係数の時間変化

(f) 奥行き圧縮係数の時間変化

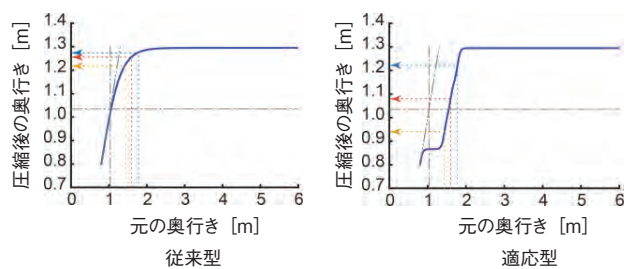
6図 選択オブジェクトの奥行き位置と奥行き圧縮係数の時間変化
(a) - (c) はジャグリングシーン、(d) - (f) はダンスシーンに対応



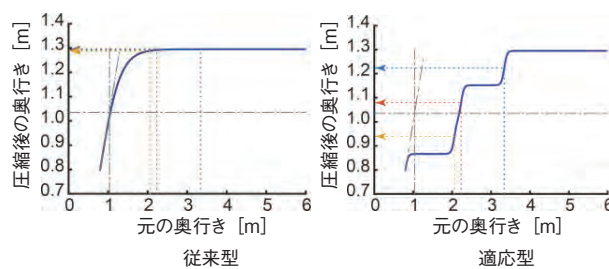
(a) t_2 のスナップショット (ジャグリング)



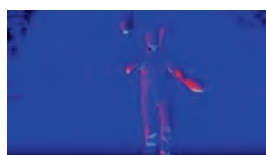
(f) t_2 のスナップショット (ダンス)



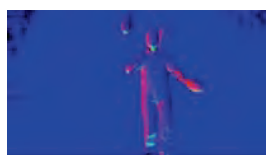
(b) 奥行き圧縮関数 ($D=0.5m$)



(g) 奥行き圧縮関数 ($D=0.5m$)



従来型

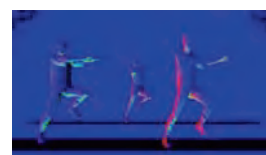


適応型

(c) 法線マップ ($D=0.5m$)

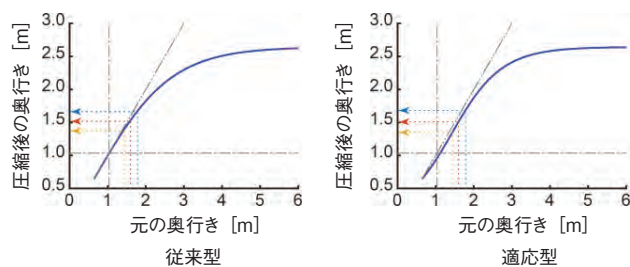


従来型

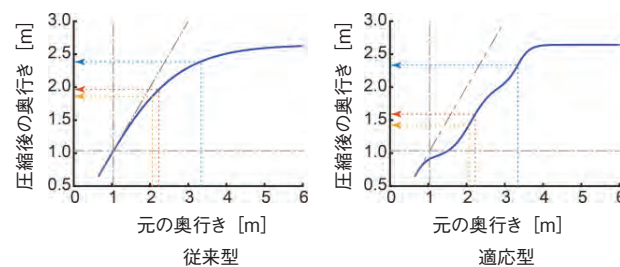


適応型

(h) 法線マップ ($D=0.5m$)



(d) 奥行き圧縮関数 ($D=2.0m$)



(i) 奥行き圧縮関数 ($D=2.0m$)



従来型



適応型

(e) 法線マップ ($D=2.0m$)



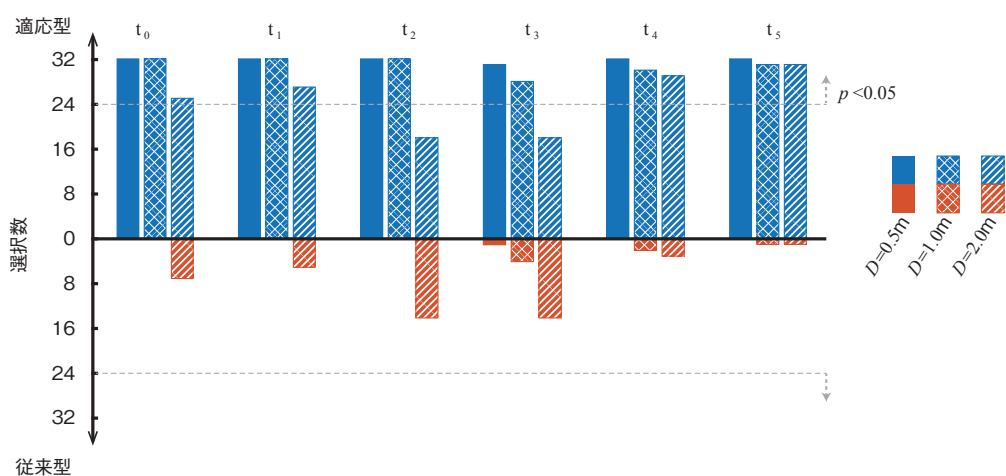
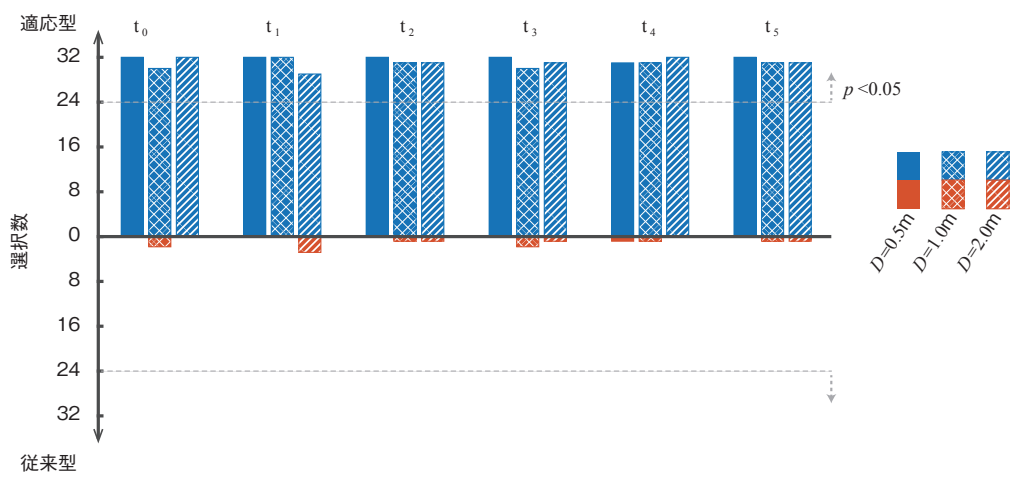
従来型



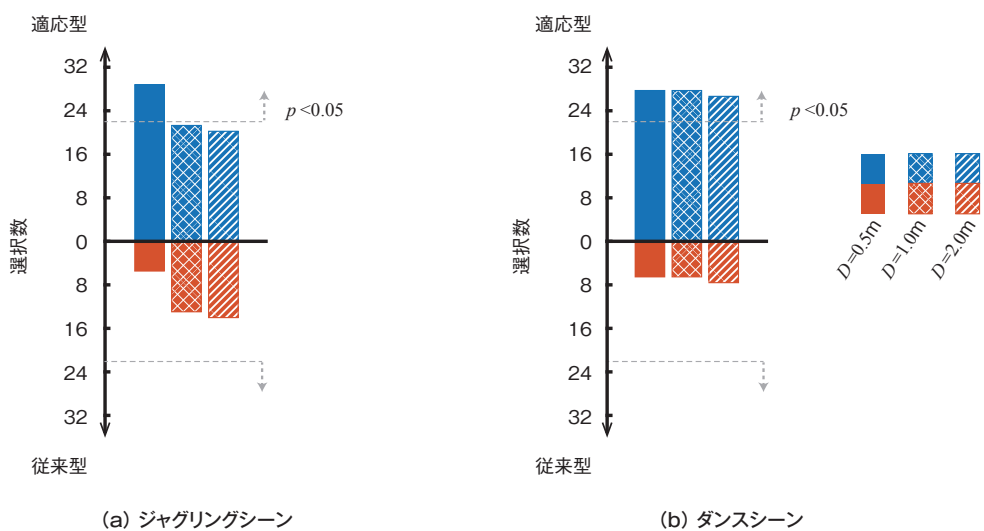
適応型

(j) 法線マップ ($D=2.0m$)

7図 3D像のスナップショット、奥行き圧縮関数、法線マップの奥行き圧縮の比較
(a)–(e) はジャグリングシーン、(f)–(j) はダンスシーンに対応



8図 奥行き感をより強く与えた奥行き圧縮法の被選択数



9図 より好ましいと判断された奥行き圧縮法の被選択数

奥行き圧縮は、奥行き再現能力が限られた環境においては、映像制作者の意図を適切に3D像に反映する方法として有効であり、自由度の高い3Dコンテンツ制作の実現に貢献できることを示している。

従来の奥行き圧縮では、観察者が感じる主観的な品質に基づいて3D像の最適化を行っている²¹⁾。本報告で提案した適応型奥行き圧縮も、3D像の表現を最適化する点では従来型と同様である。しかし、適応型奥行き圧縮と従来型との大きな違いは、映像制作者の表現の意図も最適化の対象としていることである。一般に、表現と意図は一体の関係にある。空間像再生型3Dディスプレイが将来のメディアとして利用されるためには、表現の自由度を高めることが重要であろう。本報告における実験結果は、適応型奥行き圧縮が、空間像再生型における自由度の高い3D映像制作を実現する手段の一つであることを示している。

適応型奥行き圧縮により良い主観品質を提供できることが示された（8、9図）。この結果は、奥行き圧縮係数に基づく客観評価の結果（7図）からも説明可能である。特に、適応型奥行き圧縮の効果は、ディスプレイの奥行き再現能力 D が小さい場合に顕著に表れた。また、奥行き再現能力 D が小さい場合には、従来型では奥行き圧縮係数が極端に小さくなるがあった。一方、ディスプレイの奥行き再現能力が十分である（ D が大きい）場合には、従来型でも奥行き圧縮係数を高く保つことができたため、従来型でもある程度の奥行き感が得られたと考えられる。

注目するオブジェクトの奥行き圧縮係数の値が高い（配分する奥行き量が多い）と、主観品質が向上する。しかしながら、それ以外のオブジェクトの奥行き圧縮係数は低く抑えられる（奥行きが配分されない）。この複雑な奥行き配分によって、シーンのジオメトリーも複雑な歪みが生じる。したがって、奥行き圧縮は主観品質の向上をもたらすのではなく、むしろ主観品質の大きな低下をもたらす可能性もある。それに関わらず、今回の実験結果は、適応型奥行き圧縮が明らかに主観品質を向上させることを示している。これには2つの理由が考えられる。

1つ目は、発生した歪みに関する視覚的手がかりが両眼視差と運動視差から知覚できるほど強く無かったことである。実際、目の位置をトラッキングすることで、奥行き圧縮の原点位置は、常に眼間に固定されていた。3D像の歪みを知覚できる手がかりは、左右眼の網膜に映る画像のわずかな差異だけであった⁷⁾。

2つ目は、観察者が主要な被写体（奥行き配分の対象

として選択されたオブジェクト）に対して注意を向け、それ以外の被写体（奥行きが配分されないオブジェクト）にはあまり注意を向けていないためである。視覚的注意は、視覚経験におけるフィルターのような働きをすると理解されており³²⁾、たとえ網膜に像が確実に映っていたとしても、注意を向けていないオブジェクトは意識的に処理されないことが知られている。適応型奥行き圧縮におけるパラメーター設定は、主要な被写体群のみに設定されていたため、観察者の注意はそれらに対してのみが向いていて、奥行きが配分されている領域とそうでない領域の境界に生じる不自然さに気づくことがなかったと考えられる。奥行き配分法の適正な設計が、3次元撮影技法の重要な要素になることを示唆している。

3D表現の好ましさに関する評価について、従来型奥行き圧縮の方がより好ましいと選択する場合がいくつか観測された。この場合での奥行き感に関する評価は、適応型の方が強いと選択されている。この結果は、強い奥行き感が、必ずしもより好ましい表現であることにつながらないことを示す。また、奥行き感評価は静止画を、好ましき評価はアニメーションを用いている。静止画を用いた評価では目立たなかった複雑な奥行き圧縮関数に由来するアーチファクトが、アニメーションになることで顕在化し、好ましき評価で単純な奥行き圧縮関数による従来型の奥行き圧縮が選択された可能性もある。アニメーションが奥行き圧縮表現の好ましさに与える影響については、まだ不明なところが多く、今後さらに検討が必要である。

適応型奥行き圧縮の制限として、奥行き配分を受けるオブジェクト数に限りがあることが挙げられる。オブジェクト数が増加すると、それぞれに配分される奥行き量は相対的に低下してしまう。奥行き圧縮関数の曲線の傾きが小さくなることに相当し、結果としてオブジェクトが強く圧縮されることを意味する。これは、式(5)の d_i をすべて均等に配分するという表現上の意図によるものである。しかし、構図の中で主たる被写体は、一般には数個に限定されることが多いため、この制限が顕在化することは、奥行き再現範囲がよほど狭い場合を除いて、大きな問題とならないと考える。この制限によって生じる問題は、アニメーションシーンの文脈に応じて、奥行き圧縮関数を適切に設定することでこの制限によって生じる問題を軽減できると考えられる。

7. まとめ

本報告では、適応型奥行き圧縮が、奥行き再現能力に制限がある奥行き再現型3Dディスプレイにおいて、映像制作意図を適切に反映させる手段が提供できることを示した。3D映像表現の幅を広げることができる本手法は、将来の3次元テレビサービスにおけるコンテンツ制作の重要なアプローチとなる。

本稿は、ITE Transactions on Media Technology and Applications誌に掲載された以下の論文をもとに加筆・修正したものである。
Y. Sawahata, Y. Miyashita and K. Komine: "Intended 3D Content Expressions on Light-field Displays using Adaptive Depth Compression," ITE Transactions on Media Technology and Applications, Vol.10, No.2, pp.75-88 (2022).

- 1) G. Lippmann: "La Photographie Integrale," C. R. Acad. Sci., Vol.146, pp.446-451 (1908).
- 2) A. Isaksen, L. McMillan and S. J. Gortler: "Dynamically Reparameterized Light Fields," Proc. 27th SIGGRAPH, ACM Press, pp.297-306 (2000).
- 3) A. Stern, Y. Yitzhaky and B. Javidi: "Perceivable Light Fields: Matching the Requirements between the Human Visual System and Autostereoscopic 3-D Displays," Proc. IEEE, Vol.102, No.10, pp.1571-1587 (2014).
- 4) H. Watanabe, N. Okaichi, T. Omura, M. Kano, H. Sasaki and M. Kawakita: "Aktina Vision: Full-Parallax Three-Dimensional Display with 100 Million Light Rays," Sci. Rep, Vol.9, No.1, pp.1-9 (2019).
- 5) Y. Sawahata and T. Morita: "Estimating Depth Range Required for 3-D Displays to Show Depth-Compressed Scenes Without Inducing Sense of Unnaturalness," IEEE Trans. Broadcast, Vol.64, No.2, pp.488-497 (2018).
- 6) Y. Sawahata, Y. Miyashita and K. Komine: "Estimating Angular Resolutions Required in Light-Field Broadcasting," IEEE Trans. Broadcast, Vol.67, No.2, pp.473-490 (2021).
- 7) Y. Miyashita, Y. Sawahata, M. Katayama and K. Komine: "Depth Boost: Extended Depth Reconstruction Capability on Volumetric Display," ACM SIGGRAPH2019 Talks, No.35, pp.1-2 (2019).
- 8) Y. Miyashita, Y. Sawahata and K. Komine: "Perceptual Assessment of Image and Depth Quality of Dynamically Depth-compressed Scene for Automultiscopic 3D Display," IEEE Trans. Vis. Comput. Graph., Vol.29, No.6, pp.3067-3080 (2022).
- 9) B. Masia, G. Wetzstein, P. Didyk and D. Gutierrez: "A Survey on Computational Displays: Pushing the Boundaries of Optics, Computation and Perception," Comput. Graph, Vol.37, No.8, pp.1012-1038 (2013).
- 10) M. Zwicker, W. Matusik, F. Durand and H. Pfister: "Antialiasing for Automultiscopic 3D Displays," Proc. Eurographics Symposium on Rendering, pp.73-82 (2006).
- 11) H. Hoshino, F. Okano, H. Isono and I. Yuyama: "Analysis of Resolution Limitation of Integral Photography," J. Opt. Soc. Am. A, Vol.15, No.8, pp.2059-2065 (1998).
- 12) I. P. Howard: Perceiving in Depth, Oxford University Press (2012).
- 13) H. von Helmholtz: Helmholtz's Treatise on Physiological Optics, Vol.3, Dover Publications (1962).
- 14) J. M. Wolfe, K. R. Kluender and D. M. Levi: Space Perception and Binocular Vision, in Sensation & Perception, 3rd ed. Sinauer Associates, pp.149-186 (2012).
- 15) J. E. Cutting and P. M. Vishton: Perceiving Layout and Knowing Distances: The Integration, Relative Potency and Contextual Use of Different Information about Depth, in Perception of Space and Motion, Elsevier, pp.69-117 (1995).
- 16) M. Siegel and S. Nagata: "Just Enough Reality: Comfortable 3-D Viewing via Microstereopsis," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol, Vol.10, No.3, pp.387-396 (2000).
- 17) S. Yano, M. Emoto and T. Mitsuhashi: "Two Factors in Visual Fatigue Caused by Stereoscopic HDTV Images," Displays, Vol.25, No.4, pp.141-150 (2004).
- 18) T. Shibata, J. Kim, D. M. Hoffman and M. S. Banks: "The Zone of Comfort: Predicting Visual Discomfort with Stereo Displays," J. Vision, Vol.11, No.8, 11 (2011).
- 19) M. Lambooi, W. IJsselstein, M. Fortuin and I. Heynderickx: "Visual Discomfort and Visual Fatigue of Stereoscopic Displays: a Review," J. Imaging Sci. Technol, Vol.53, No.3, pp.1-14 (2009).
- 20) M. Lang, A. Hornung, O. Wang, S. Poulakos, A. Smolic and M. Gross: "Nonlinear Disparity Mapping for Stereoscopic 3D," ACM Trans. Graph, Vol.29, No.4, p.75 (2010).
- 21) B. Masia, G. Wetzstein, C. Aliaga, R. Raskar and D. Gutierrez: "Display Adaptive 3D Content Remapping," Comput. Graph, Vol.37, No.8, pp.983-996 (2013).
- 22) T. Oskam, A. Hornung, H. Bowles, K. Mitchell and M. Gross: "OSCAM - Optimized Stereoscopic Camera Control for Interactive 3D," ACM Trans. Graph, Vol.30, No.6, p.189 (2011).
- 23) P. Didyk, T. Ritschel, E. Eisemann, K. Myszkowski and H.-P. Seidel: "Apparent Stereo: the Cornsweet Illusion Can Enhance Perceived Depth," Proc. SPIE Human Vis. Electron. Imag. XVII, Burlingame, 82910N (2012).
- 24) S. Xie, P. Wang, X. Sang, C. Li, W. Dou and L. Xiao: "Depth-tunable Three-dimensional Display with Interactive Light Field Control," Opt. Commun, Vol.371, pp.166-172 (2016).
- 25) V. K. Adhikarla, F. Marton, T. Balogh and E. Gobbetti: "Real-time Adaptive Content Retargeting for Live

- Multi-view Capture and Light Field Display,” Vis. Comput, Vol.31, pp.1023-1032 (2015).
- 26) A. Chapiro et al.: “Optimizing Stereo-to-Multiview Conversion for Autostereoscopic Displays,” Comput. Graph. Forum, Vol.33, No.2, pp.63-72 (2014).
- 27) Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh and E. P. Simoncelli: “Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity,” IEEE Trans. Image Process, Vol.13, No.4, pp.600-612 (2004).
- 28) W. Chen, J. Fournier, M. Barkowsky and P. Le Callet: “Quality of Experience Model for 3DTV,” Proc. SPIE 8288, Stereosc. Displays Appl. XXIII, 82881P (2012).
- 29) J. S. Lee: “On Designing Paired Comparison Experiments for Subjective Multimedia Quality Assessment,” IEEE Trans. Multimed, Vol.16, No.2, pp.564-571 (2014).
- 30) J. S. Lee, L. Goldmann and T. Ebrahimi: “Paired Comparison-Based Subjective Quality Assessment of Stereoscopic Images,” Multimed. Tools Appl, Vol.67, No.1, pp.31-48 (2013).
- 31) O. J. Dunn: “Multiple Comparisons Among Means,” J. Am. Stat. Assoc, Vol.56, No.293, p.52 (1961).
- 32) M. I. Posner, C. R. Snyder and B. J. Davidson: “Attention and the Detection of Signals,” J. Exp. Psychol. Gen, Vol.109, No.2, pp.160-174 (1980).



さわはた やすひと
澤島 康仁

2003年入局。同年より放送技術研究所において、視線や脳活動による心理状態推定技術の研究、3D映像の知覚・認知に関する研究に従事。2006年から2008年まで（独）情報通信研究機構に出向。2008年から2010年まで（株）国際電気通信基礎技術研究所（ATR）脳情報研究所に出向。現在、放送技術研究所空間表現メディア研究部に所属。博士（情報理工学）。



みやした やまと
宮下 山斗

2015年入局。放送技術局を経て、2017年から放送技術研究所において3D映像の奥行き圧縮表現、3D表示がもたらす効用の画面サイズ依存性、ヒトの視覚特性に基づく理想的HMDの要求仕様に関する研究に従事。現在、放送技術研究所空間表現メディア研究部に所属。



こみね かずてる
小峯 一晃

1992年入局。放送技術局を経て、1994年から放送技術研究所において、文字画像の受容特性、テレビ用ユーザーインターフェース、視線や脳活動による心理状態推定技術、3次元映像の知覚・認知に関する研究に従事。現在、放送技術研究所空間表現メディア研究部チーフ・リード。博士（工学）。

3次元空間における撮影位置 自動選択アルゴリズムの開発

界 瑛宏 澤島康仁 宮下山斗 原澤賢充 小峯一晃

Development of an Automatic Viewpoint Selection Algorithm in 3D Space

SAKAI Akihiro, SAWAHATA Yasuhito, MIYASHITA Yamato, HARASAWA Masamitsu and KOMINE Kazuteru

概要

多数のオブジェクトで構成された3Dコンピューターグラフィックス (3DCG: Three-dimensional Computer Graphics) シーンにおいて、仮想カメラによって撮影した映像に対して人が感じる良さを推定するアルゴリズムについて報告する。撮影像の情報量を測る視点エントロピーは、人が感じる良さに相関することが知られているが、オブジェクトが複数あるシーンではオブジェクト間の重なりなどが考慮されないため、少数のオブジェクトからなる単純なシーンでしか有効ではなかった。提案手法では、オブジェクトの特徴に基づいて推定した重要度を用いて、各オブジェクトに対して個別に計算された視点エントロピーを統合することで、多数のオブジェクトからなる複雑なシーンにおける撮影位置（視点）からの映像の良さを推定した。大量の主観的な良さのデータセットをWebベースの実験によって取得し、人が観察した場合の評価と整合するように、重要度の値を最適化することでビル群のある都市風景など、さまざまな3Dシーンにおいてオブジェクトやシーンの内容の認識と把握に役立つという観点で好ましい撮影位置を予測することができる。さらに、推定されたモデルパラメーターを解析することにより、人が視覚的な世界をどのように観察して最適な撮影位置を選択しているかを示すことができる点も、提案手法の特徴となっている。

ABSTRACT

This paper presents an algorithm to estimate the appeal that a human feels towards images captured by a virtual camera in a 3D computer graphics scene composed of numerous objects. The viewpoint entropy, which measures the amount of information in the captured images, is known to correlate with the appeal that a human feels, but it is only effective in simple scenes containing a few objects as it does not consider overlaps between multiple objects in a scene. The proposed method estimates the appeal of a shooting position (viewpoint) in complex scenes composed of numerous objects by integrating the viewpoint entropy calculated for each object independently, based on the importance estimated from the characteristics of the object. We collected a large dataset of subjective appeal ratings through web-based experiments, and by optimizing the importance values to align with the evaluations when observed by humans, we could predict desirable shooting positions in various 3D scenes, such as cityscapes with buildings, which would be useful for understanding and recognizing the content of objects and scenes. Furthermore, one of the features of the proposed method is that by analyzing the estimated model parameters, we can illustrate how humans observe the visual world and choose the optimal shooting positions.

1. はじめに

最近の映像制作では、3DCGを使用したものがより一般的になってきており、撮影セットなど特殊な環境を物理的に構築することなく高度な演出や表現が可能となる一方で、その制作作業は複雑化している。複雑化する要因の一つに、仮想カメラの視点位置・撮影画角の決定がある。これまでの撮影（非CG制作）は、カメラ配置は物理的制約の中で適当なものが選ばれていたが、3DCGでは映像を映す仮想カメラを自由な位置姿勢で配置することができる。これまで以上に膨大な候補の中から意図した視覚的表現を得るには、それらを正確に操作する必要がある。3DCGにおける表現選択の課題に対処するために、CGシーンを簡単な映像として確認する「Previs」*¹が行われることがある。事前に表現を確認することにより高品質なCG映像表現を得ることができる一方で、実際のカメラを扱っている感覚で仮想カメラを操作できるようセットを組む作業（モーショントラッカーの設営）などが発生する。3DCGの導入によって、高度な演出と表現を低コストで実現できることが期待されているが、制作者が意図する高度な表現を得るためには多大な作業が必要となる。

物体やシーンを観察するときを選択する視点位置や角度には、多くの人の間に共通性があることが知られている¹⁾。特に、物体やシーンの内容の認識と把握に役立つ視点・表現が好まれる傾向にある。このような見えを提供する「良い」視点は、カノニカルビュー（Canonical View）と言われる。したがって、どの視点から見ても良いという条件が与えられたとしても、人が選択する視点や表現は、多くの場合は限られた候補の中から選択しているといえる。人が良いと感じる視点や表現の範囲を知ることができれば、3DCGの導入がもたらす映像制作における多大な作業の軽減が期待できる。人が良いと感じる表現を予測することができる撮影位置自動選択アルゴリズムにより、仮想カメラの視点位置・撮影画角を決める作業が簡素化され、3DCGを用いた映像制作を効率的に行なうことができる。

これまで、単一のオブジェクトを観察する際にどの視点の評価が高いかを予測する視点選択アルゴリズムが数多く提案されている。たとえば、視点エントロピー²⁾やメッシュ顕著性³⁾などがあり、これらはオブジェクト表面の複雑さに基づいて視点の良さをスコア化する。これらの情報量の多い視点と、人の主観的な「良さ」の評価には相関がみられることから、人が情報量の多い視点を好むことが示唆されている¹⁾。これらの方法を同じオブ

ジェクトを使用して比較した研究では、予測精度は対象のオブジェクトやシーンに依存するものの、視点エントロピーは他の方法に比べて安定したパフォーマンスを示すことが報告されている⁴⁾。最近では、従来のエントロピー法に深度エントロピー（カメラから可視領域までの距離のエントロピー）とシェーディングエントロピー（可視領域における光の当たり具合による濃淡のエントロピー）を取り入れたViewpoint Quality Metrics⁵⁾や、文化遺産の3Dデータから好ましい視点を自動的に選択する技術⁶⁾、機械学習に基づいた視点選択⁷⁾も提案されている。

しかしながら、従来の方法は主に単一または数個のオブジェクトで構成される単純なシーンを対象として評価されており、映像制作におけるシーンなど、多数のオブジェクトから構成されるシーンが想定されていない。これは複数のオブジェクト間の相互作用（オブジェクトの重なり、画角内のオブジェクト配置、フレーミング*²など）が考慮されていないため、良好な視覚的表現を生み出すことが困難であることが考えられる。

本報告では、多数のオブジェクトから構成されるシーンに適用可能な新しい撮影位置選択アルゴリズムを開発したので報告する（1図）。本アルゴリズムは、シーン内のオブジェクトに対する情報量を独立に計算し、各オブジェクトの特徴の重要度に基づいて情報量を合成し、そのシーン全体の情報量を算出する。オブジェクト特徴の重要度は、さまざまな視点から見たシーンの表現の良さを評価した大量の評価データに基づき、人が感じる視覚的表現の良さを適切に説明する値を推定する。このようなモデルは、複雑なシーンで良好な撮影位置を予測するだけでなく、観察者がシーンを評価する際に、どのような特徴に基づいて判断しているかという、表現の良さの本質に迫ることができる。2章では、アルゴリズムの詳細について述べ、3章にて推定精度の評価および表現選択において重要な特徴が何かを明らかにする。4章で今後の展開について述べる。

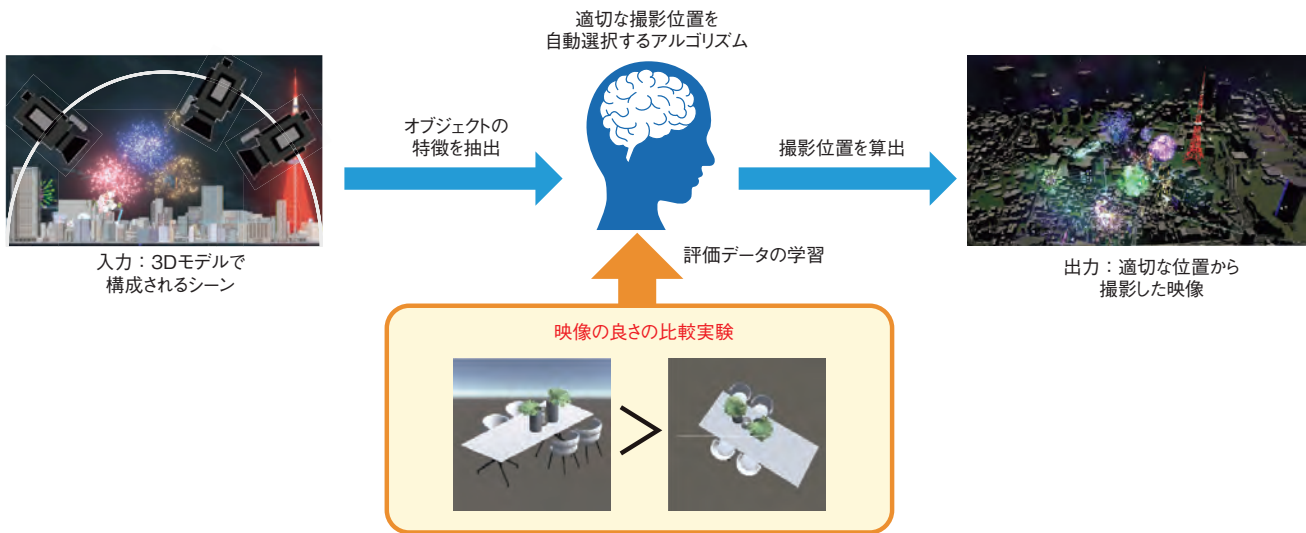
2. 撮影位置自動選択アルゴリズム

2.1 アルゴリズムの概要

視点エントロピー²⁾は、その撮影位置からの見えの情報量を定量化する方法であり、人の感じる「良さ」と相関があることが知られている。ここで、メッシュ化され

*1 映像を制作する前にCGやカメラの動きを把握すること。Pre Visualizationの略語。

*2 被写体を写す枠の範囲を選択すること。



1図 撮影位置選択アルゴリズム

た3Dデータが与えられたとき、シャノンエントロピー S^* ³は、(1) 式によって表される。

$$S = - \sum_{n=1}^N (p_n \log p_n) \quad (1)$$

(1) 式で、 p_n は、画面内に映る n 番目のポリゴン⁴面の投影面積の割合であり、 N はレンダリングされたポリゴン面の数となる。視点位置を変更するとポリゴンの投影像が変化するため、 S の値は変化する。従来の研究では、特にオブジェクト数が少ないシンプルなシーンで、この S の値が、人が良好と感じる撮影位置と相関することが示されている¹⁾。

本報告では、多数のオブジェクトから構成される複雑なシーンで良好な視覚的表現を見つけるために視点エントロピー法を拡張する方法を提案する。個々のオブジェクトの特徴の知覚的重要性によって、各オブジェクトに対して計算された個々のエントロピーを重みづけし合成することにより、複雑なシーンの表現の良さをモデル化した(2図)。これは、シーンの表現の良さが、従来十分に考慮されていなかったシーンの構成要素の特徴、例えば画像フレーム内での相対位置、体積、撮影位置からの距離などに依存するという仮説に基づく。

撮影位置 i からの全体的な視点エントロピーを $s_{all,i}$ と定義すると、重みづけされた視点エントロピー $s_{all,i}'$ は(2)式のように定義できる。

$$s_{all,i}' = s_{all,i} + \sum_{j=1}^{N_{obj}} w_{i,j} s_{i,j} \quad (2)$$

ここで、 $s_{i,j}$ は、 i 番目の撮影位置から見た、 j 番目のオ

ブジェクトのエントロピーであり、他のすべてのオブジェクトが表示されていない状態で得られる。 $w_{i,j}$ は、 $s_{i,j}$ の重みを表し、 N_{obj} はシーン中のオブジェクトの数である。この式は、個々のオブジェクトの情報量の重要性を考慮して、全体的な情報量を調整する。さらに、重み $w_{i,j}$ は、特徴量の加重和として次のように定義する。

$$w_{i,j} = \sum_{k=1}^L v_{i,j,k} \alpha_k \quad (3)$$

ここで、 $v_{i,j,k}$ は、 i 番目の撮影位置から見た、 j 番目のオブジェクトの k 番目の特徴量であり、 α_k は、 k 番目の特徴値に対する重み(特徴量の重要度)である。 α_k の値は、人が感じる視覚的表現の良さを十分良く説明するような値として推定される(2.2節参照)。

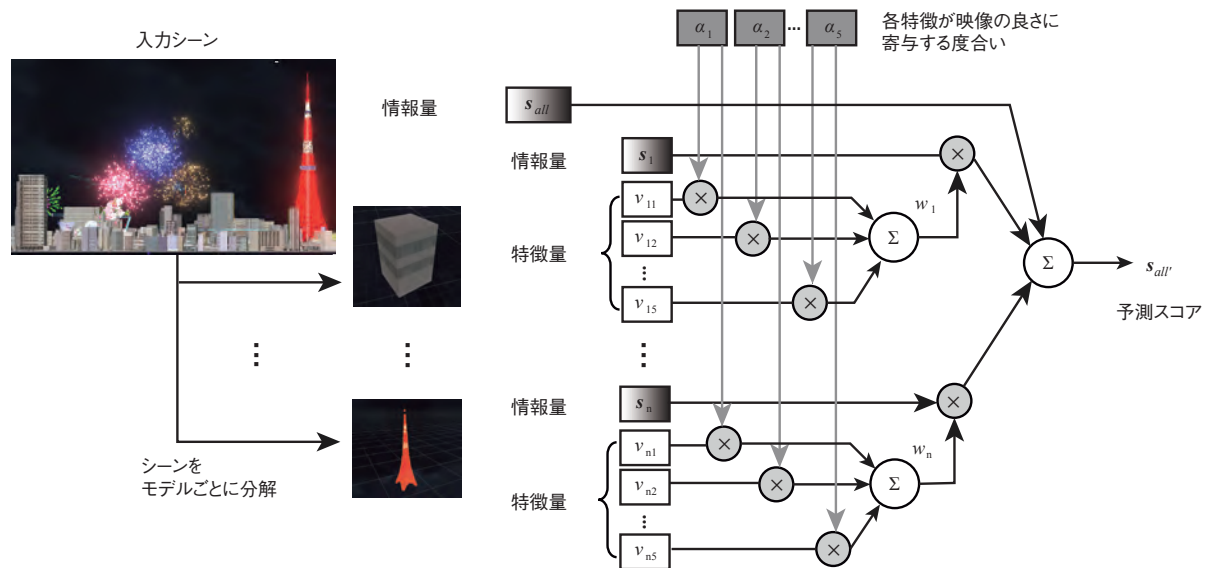
特徴量 $v_{i,j,k}$ には、オブジェクトの体積、仰角、オブジェクトからシーンの中心までの距離、オブジェクトから撮影位置までの距離、および顕著性の5つの特徴量($L=5$)を使用した。仰角の特徴量は予備実験により得られた、水平面から約30°にピークを持つ山型の曲線で定義され、一般に人はスリークォータービュー⁵⁾を好む⁸⁾ことに対応する。顕著性の特徴量は、顕著性マップ⁶⁾上の輝度値を各オブジェクトに投影し、オブジェクトごとにその輝度値を合算することで算出した⁹⁾。顕著性の特徴量は、

*3 情報の不確定性を測る指標の一つ。情報源の出力に含まれる不確定性を定量的に表現すること。

*4 平面上や空間内で、3つ以上の頂点を持つ多角形。

*5 物体や建物などの図形を斜め方向から見た視点。

*6 人の視覚において目立つ領域を抽出するために用いられる手法の一つ。画像の中で視覚的に注目されやすい領域を、明暗や色の差などから数値化したマップで表す。



2図 アルゴリズムの詳細

各オブジェクトの目立ちやすさを表す特徴とみなせる。

2.2 モデルパラメーターの推定

重み値 α_k を推定するために、(2) 式と (3) 式を、改めて (4) 式で示されるように行列形式で表現する。

$$s_{all}' = s_{all} + \left(\begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} s_1^t V_1^t + \dots + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} s_{N_{view}}^t V_{N_{view}}^t \right) \alpha \quad (4)$$

ここで、 s_{all}' と s_{all} は各撮影位置からの調整された視点エントロピーを表す N_{view} 次元のベクトルであり、 i 番目の要素はそれぞれ $s_{all,i}'$ 、 $s_{all,i}$ に対応する。 s_i は各撮影位置から各オブジェクトの視点エントロピーを含む $N_{view} \times N_{obj}$ 次元の行列であり、 V_i は、各撮影位置から各オブジェクトの特徴値を含む $L \times N_{view}$ 次元の行列である。行列 V_i の要素 j, k は、 $v_{i,j,k}$ に対応する。 α は各特徴の重み値を含む L 次元のベクトルで、 k 番目の要素が α_k に対応する。

これにより、各撮影位置からの観察された表現の良さと、各物体特徴が表現の良さの予測にどのように貢献するかを考慮しながら、 $s_{all,i}'$ との二乗誤差を最小化することができる。

人が実際に表現を観察して評価した結果が説明できるように、 α を推定する。 s_{all}' を評価データ（表現に対するスコア）で置き換えれば、(4) 式は、評価データを目的変数とする α についての線形回帰モデルとみることができる。ここでは、線形回帰モデルの標準的な解法を用いて α を求める。すなわち、(4) 式の左辺と右辺の二乗誤差を最小化するような解を α の推定値として求める。

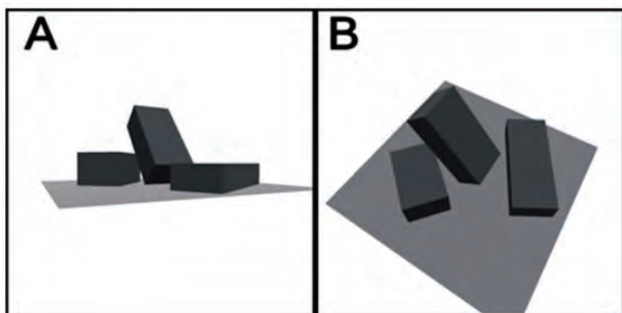
推定した α の各要素 α_k (特徴量に対する重み値) を評価することで、観察者が表現の良さをどのように評価しているかに関する知見を得ることができる。たとえば、オブジェクトの体積の特徴の重み値がゼロである場合、この特徴は表現の総合的な良さに貢献しないことを意味する。一方、重み値が大きく正である場合、体積が撮影位置選択に重要な影響を与えることを示す。このモデルにより、アルゴリズムは複雑なシーンに適用することができ、人がなぜその撮影位置からの映像を良いと感じるか解釈することも可能となる。

2.3 評価データ収集

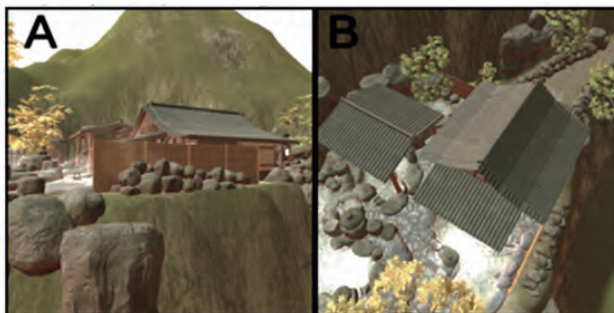
本研究では、Web実験を通して、さまざまな撮影位置からレンダリングされた画像の主観的な好みの度合いに関するデータを収集した。評価用の画像（表現）は、正多面体の中で最も面の数が多い正二十面体の面を等間隔に分割した多面体の上半分の頂点位置に配置された52の撮影位置からシーンをレンダリングして生成した。生成した画像は、ランダムに生成された直方体、都市、農村の風景など、20の異なるシーンで構成されている（3図参照）。都市/農村の景観には平均して 600 ± 200 のオブジェクトが含まれる。カメラは固定された視野角で、常にシーンの中心に向けられており、光源は常に仮想カメラの斜め上方向に配置した。

実験参加者は、提示された表現の良さを一対比較方式 (2AFC)*7で評価した。具体的には、実験参加者は、ブラウザの画面に表示されるAとBの2つの画像を比較し、画像内のオブジェクトの配置や形を説明するうえで

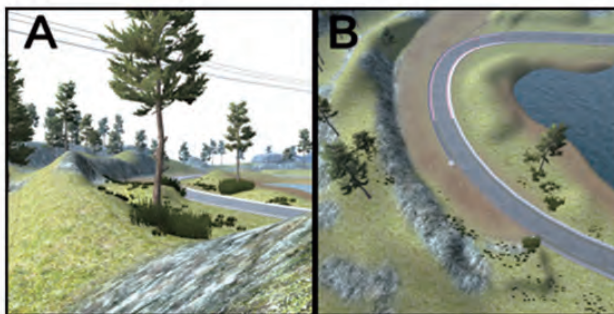
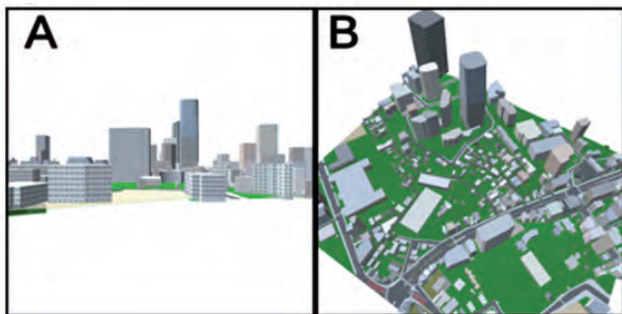
直方体



自然な風景



都市



3図 提示画像の例

好ましい方を選択した（3図参照）。評価用の画像は、1シーンあたり52視点あるため、比較できる組み合わせは1,326通り（ $=_{52}C_2$ ）となる。クラウドソーシング*⁸を利用することで、膨大な量の組み合わせ（各シーンにつき参加者は1,190人）の評価データを収集することができた。

すべての評価用の画像は、サー斯顿（Thurston）スケーリング*⁹を用いて、1対比較データから、個々の画像の間隔尺度のスコア値に変換した。Thurstonスケーリングは各シーンに独立に適用した。スコアと撮影位置の一部の例は、4図に示されている。スコアが高い撮影位置ほど主観的な品質の高い撮影位置を示す。

2.4 アルゴリズムの評価

人による評価データを正しく推定できるかどうかを測ることで、提案アルゴリズムの性能評価を行った。ここでは、従来手法（視点エントロピー）、および、近年一般的な方法となりつつある、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）*¹⁰を用いた回帰モデルを導入し、推定精度の比較を行った。

従来手法による表現の良さは、(1)式を用いてシーン全体の視点エントロピーとして導出したものである。すなわち、(2)式の $s_{all,i}$ に相当する。

CNNを用いた回帰モデルは、ある視点位置からの画

像を入力とし、ディープニューラルネットワークを使用して画像のスコアを予測するものである。CNNモデルは、プログラミング言語パイソン（Python）のオープンソフトウェアライブラリであるケラス（Keras）とテンソルフロー（TensorFlow）のパッケージ*¹¹を使用して実装され、3つの畳み込み層、1つの最大値プーリング層、2つの全結合層、および活性化関数レルー（ReLU: Rectified Linear Unit）で構成される回帰問題を扱う際の最も標準的な構造*¹²を持つこととした。提案手法とCNNモデルでは、クロスバリデーション法*¹³によって、その予測性能の評価を行った。クロスバリデーションでは、全データをシーンごとの20のセグメントに分割し、

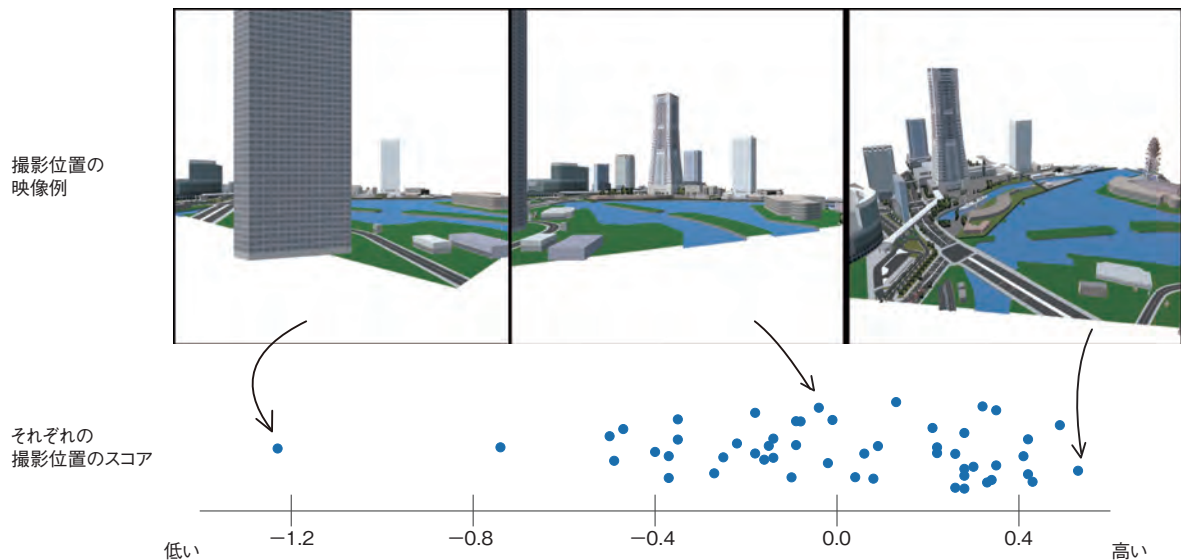
*7 心理物理学や感覚評価などの分野で使用される実験手法の一つ。2つの刺激を提示し、被験者にどちらが好ましいかを選択させることで、刺激間の差異を評価する。

*8 インターネット上のプラットフォームを介して、多数の人々にタスクを依頼し、その結果を収集する手法。

*9 主観的な評価を客観的に測定するための手法の一つ。この手法は、被験者が複数の対象に対して評価を行い、その評価を因子分析などの統計的手法によって解析することで、対象間の相対的な優先度を算出する方法。

*10 主に画像認識や音声認識などの分野で使用される、深層学習の一種。CNNは、畳み込み層（Convolutional Layer）とプーリング層（Pooling Layer）から構成され、畳み込み層は、画像の特徴を抽出するために使用され、プーリング層は畳み込み層で得られた特徴を縮小して、計算量を削減するために使用される。これらの層を複数組み合わせることで、画像の分類や物体検出などのタスクを解決することができる。

*11 深層学習の分野で広く使用されるパッケージ。KerasとTensorFlowを組み合わせることで、高速で高い精度の深層学習モデルを構築することが可能となる。



4図 各視点のThurstonスコアの例

モデルパラメーターは、20のうち19のシーンで学習し、残りの1シーンでスコアの予測を行った。予測精度はピアソン相関係数で定量化した。ピアソン相関係数は、予測精度を-1から1の間で表すことができ、高精度な予測ができるとき1、完全にランダムなとき0、符号が反転した予測を行うとき-1を示す。学習用のデータセットは常にテスト用のデータセットと独立である。

2.5 一般的なVRシーンでの有効性の検証

提案手法が、評価用のシーンだけでなく、よりコンテンツとして一般的なシーンにおいても、自動的に最適な撮影位置を生成できるかを検証する。ここでは、Tilt Brush^{*14}を使用して都市の夜空にVR（Virtual Reality：仮想現実）アートの花火が描かれたシーンに、提案手法を適用する。建物や風景などが中心の評価用のシーンだけでなく、テーマを持ったより一般的なシーンに本手法が有効に機能することを確認する。

3. 結果

3.1 各アルゴリズムの予測精度

5図は、提案手法、従来手法、およびCNNベースの手法によって予測された撮影位置スコアと人による評価データとの相関を比較したものである。各棒グラフ上のマーカー（○、△、◇）は、右側に示されたシーンタイプの相関係数を示しており、相関係数が高くなるほど予測精度が高いといえる。提案手法は従来手法を上回り、CNNベースの手法と同等の性能を示した。CNNベースの手法の性能には大きな分散があり、提案手法では

$\sigma^2=0.014$ であったのに対して、 $\sigma^2=0.034$ となった。これは、CNNベースの手法は特定のシーン（例えば、赤丸で囲った相関係数 $r=0.25$ の△）で大幅な低下があったのに対し、提案手法はシーンにかかわらず、安定した高い性能を示したことがその理由といえる。

3.2 モデルパラメーターの解釈

6図は、20分割クロスバリデーションで得られた各特徴量の重み値 a_k の分布と、各特徴量に対して好まれる視点画像の例を示している。オブジェクトの体積特徴量に対する重み値がほぼゼロであることから、オブジェクトの体積は撮影位置選択に寄与しなかったことを示唆する。仰角とオブジェクトからシーン中心までの距離の正の重みは、観察者が特定の仰角の撮影位置を好むことを示し、各シーンの周辺にあるオブジェクトが全体的な

*12 回帰の標準的な構造には、次のような層が含まれる。

入力層：特徴量の数に応じた数のユニットを持つ。

畳み込み層：画像から特徴を抽出するためのフィルターを適用する。フィルターは、画像内の小さな領域に対して畳み込み演算を行い、特徴マップを生成する。

最大値プーリング層：プーリング層は、畳み込み層で得られた特徴マップを縮小するために使用される。最大値プーリング層は、小領域内で最大値を取得することで、特徴マップを縮小する。

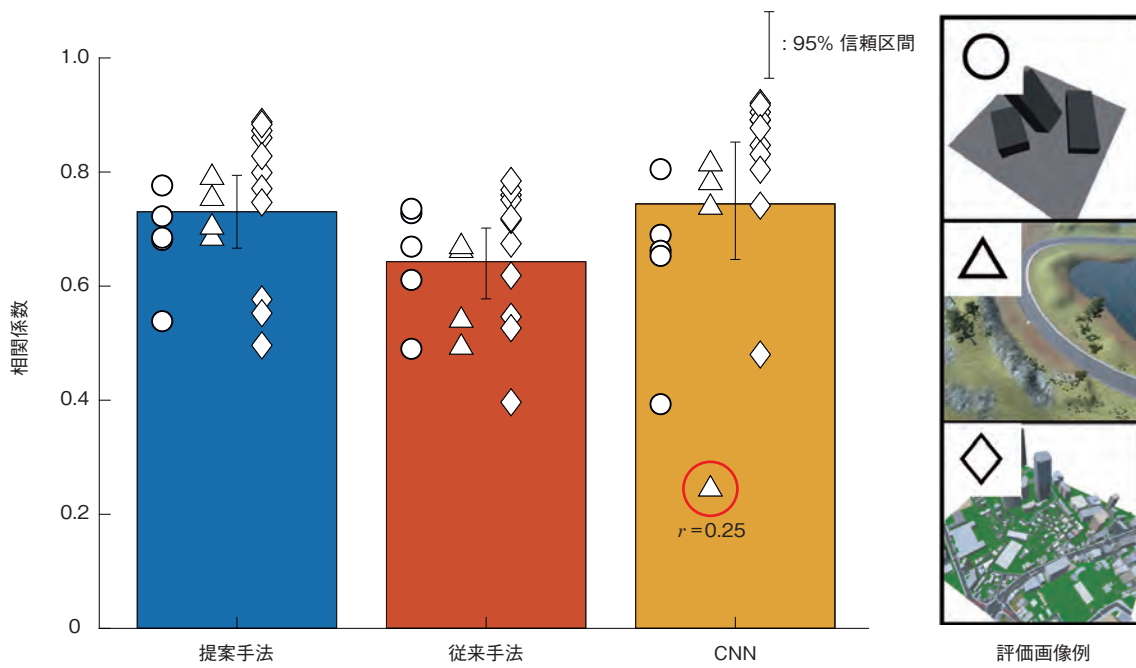
全結合層：畳み込み層とプーリング層を経て、得られた特徴マップを1次元に変換し、全結合層に入力する。全結合層は、入力された特徴量を元に、回帰の予測値を出力する。

出力層：回帰の場合、出力層は1つのユニットを持ち、回帰の予測値が出力される。

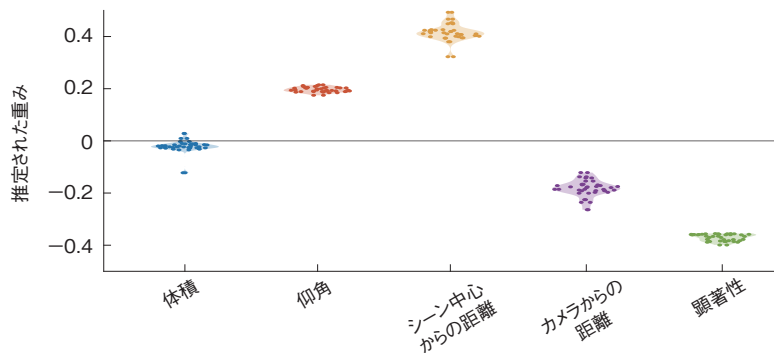
また、ReLUは、最も一般的に使用される活性化関数の1つで、入力が0以下の場合は0を出力し、入力が0より大きい場合はそのまま出力する関数となる。

*13 データセットを複数の小さなサブセットに分割し、それらのサブセットを使って複数のモデルを学習し、性能を評価する手法。

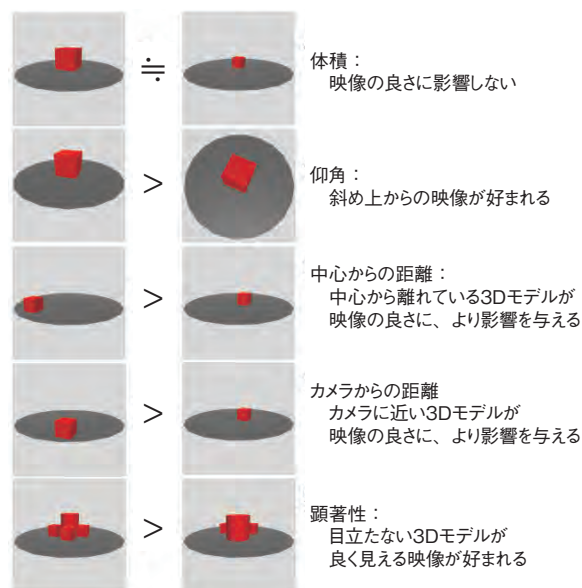
*14 Googleが開発したVRアプリケーションで、3D空間内で絵を描くことができるツール。



5図 予測精度の比較



(a) 特徴量の重み値の分布



(b) 視点画像の例

6図 3Dモデルの各特徴が映像の良さに影響する度合い



(a) 提案手法



(b) 従来手法

7図 提案手法 (a) と従来手法 (b) で提案される上位4視点

撮影位置の質を決定するのに貢献したことを示す。オブジェクトから撮影位置までの距離と顕著性の特徴量の負の重みは、観察者が撮影位置から遠いオブジェクトよりも近いオブジェクトに焦点を合わせる傾向があり、顕著性が高い（目立つ）オブジェクトが良く見え、顕著性が低い周りのオブジェクトが見えづらくなってしまう撮影位置を好まなかったことを示す。

3.3 一般的なVRシーンでの検証

7図は、提案手法と従来手法によって選択された、最適な撮影位置を比較したものである。提案手法は、都市の背景に描かれた花火を適切な構図で描写しているが、従来手法では都市を見下ろす撮影位置を選択した。従来手法は、多くの表面を見ることができる情報量の高い撮影位置を好むため、遮蔽が少ない撮影位置が選ばれる傾向があった。そのため、重なりが少ない撮影位置が選択された。一方、提案手法は、オブジェクト間の重なりを考慮しながら、人の好みに近い撮影位置を選択した。

4. まとめ

本報告では、多数のオブジェクトで構成される複雑なシーンに適用できる撮影位置選択方法を提案した。本手法は、従来の視点エントロピー法に加えて、各オブジェクトの視点エントロピーを独立に評価し、個々のエント

ロピーを人の認知特性を考慮して統合することで、複雑なシーンにおける視点の良さをモデル化したことが特徴である。これにより、複雑なシーンであっても、人の主観的な評価に合った撮影位置の推定を可能とした。

また、予測モデルのパラメーター推定値を評価することにより、撮影に適した位置を人が評価する際に、重要視している特徴について知見を得ることができた。視点の良さ（評価値）の推定精度については、提案手法とCNNベースの手法は同等程度の性能を示したが、CNNベースの手法は、撮影位置が選択された根拠を得ることは通常困難である。また、学習データセットに含まれるシーンが、テスト用のシーンと大きく異なる場合、CNNによる撮影位置推定精度は低下した一方で、提案手法では安定的な性能を示した。これは、特徴の重要度に基づく情報量を統合する提案モデルが、人の実際の認知に近い特性を持つことを示唆する。

今後は、アニメーションを含むシーンでの視点予測に加え、リアルタイムでの撮影位置選択を行うためにより高速な手法への拡張を予定している。

本稿は、国際会議SIGGRAPH Asiaで報告した以下の原稿を元に加筆・修正したものである。

A. Sakai, Y. Sawahata, Y. Miyashita and K. Komine : "Cognition-Aware Automatic Viewpoint Selection in Scenes with Crowds of objects," SIGGRAPH Asia 2022 Posters, No.21, pp.1-2 (2022).

参考文献

- 1) V. Blanz, M. J. Tarr and H. H. Bülthoff: "What Object Attributes Determine Canonical Views?," Perception, Vol.28, 5, pp.575-599 (1999).
- 2) P. P. Vázquez, M. Feixas, M. Sbert and W. Heidrich: "Viewpoint Selection Using Viewpoint Entropy," Proc. VMV '01, pp.273-280 (2001).
- 3) C. H. Lee, A. Varshney and D. W. Jacobs: "Mesh Saliency," ACM Trans. Graph., Vol.24, 3, pp.659-666 (2005).
- 4) H. Dutagaci, C. P. Cheung and A. Godil: "A Benchmark for Best View Selection of 3D Objects," Proc. ACM workshop, pp.45-50 (2010).
- 5) N. Marsaglia, Y. Kawakami, S. D. Schwartz, S. Fields and H. Childs: "An Entropy-Based Approach for Identifying User-Preferred Camera Positions," 2021 IEEE 11th Symposium on LDAV, pp.73-83 (2021).
- 6) S. Zeng, G. Geng and M. Zhou: "Automatic Representative View Selection of a 3D Cultural Relic Using Depth Variation Entropy and Depth Distribution Entropy," Entropy, Vol.23, No.12, p.1561 (2021).
- 7) Y. Zhang, G. Fei and G. Yang: "3D Viewpoint Estimation Based on Aesthetics," IEEE Access, Vol.8, pp.108602-108621 (2020).
- 8) G. K. Humphrey and P. Jolicoeur: "An Examination of the Effects of Axis Foreshortening, Monocular Depth Cues, and Visual Field on Object Identification," Q J Exp Psychol A., Vol.46, 1, pp.137-159 (1993).
- 9) X. Hou and L. Zhang: "Saliency Detection: A Spectral Residual Approach," 2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.17-22 (2007).



さかいあきひろ
界 瑛宏

2018年入局。秋田放送局を経て、2020年から放送技術研究所において、認知科学の研究に従事。現在、放送技術研究所空間表現メディア研究部に所属。



さわはた やすひと
澤島 康仁

2003年入局。同年より放送技術研究所において、視線や脳活動による心理状態推定技術の研究、3D映像の知覚・認知に関する研究に従事。2006年から2008年まで（独）情報通信研究機構に出向。2008年から2010年まで（株）国際電気通信基礎技術研究所（ATR）脳情報研究所に出向。現在、放送技術研究所空間表現メディア研究部に所属。博士（情報理工学）。



みやした やまと
宮下 山斗

2015年入局。放送技術局を経て、2017年から放送技術研究所において3D映像の奥行き圧縮表現、3D表示がもたらす効用の画面サイズ依存性、ヒトの視覚特性に基づく理想的HMDの要求仕様に関する研究に従事。現在、放送技術研究所空間表現メディア研究部に所属。



ほらさわ まさみつ
原澤 賢充

2006年入局。同年より放送技術研究所において、視覚などの感覚入力に対する人間の情報処理過程と映像技術を結び付ける研究に従事している。専門は視覚の心理物理学と人間の知覚・認知の実験心理学。現在、放送技術研究所空間表現メディア研究部エキスパート。博士（情報科学）。



こみね かずてる
小峯 一晃

1992年入局。放送技術局を経て、1994年から放送技術研究所において、文字画像の受容特性、テレビ用ユーザーインターフェース、視線や脳活動による心理状態推定技術、3次元映像の知覚・認知に関する研究に従事。現在、放送技術研究所空間表現メディア研究部チーフ・リード。博士（工学）。

番組編成に応じたイベント駆動型 リニア配信システムの開発

当所では、放送局のインターネット動画配信サービスを多様なニーズに合わせて、安定かつ効率的に提供するための配信基盤技術の研究を進めている。近年、インターネットトラフィックや同時接続数はますます増加している。これらに柔軟に対応するため、サーバーやネットワークなどのインフラを必要に応じて利用可能な、“クラウド”を利用した配信システムの開発を進めている。

今回、テレビ放送のように番組表に従ってライブ番組および収録番組をインターネットで配信する“リニア配信”を、配信基盤上のサーバーの負荷を抑えて安定的、効率的に提供する技術を開発した。

■ 多数のリニア配信チャンネルの提供に向けた課題

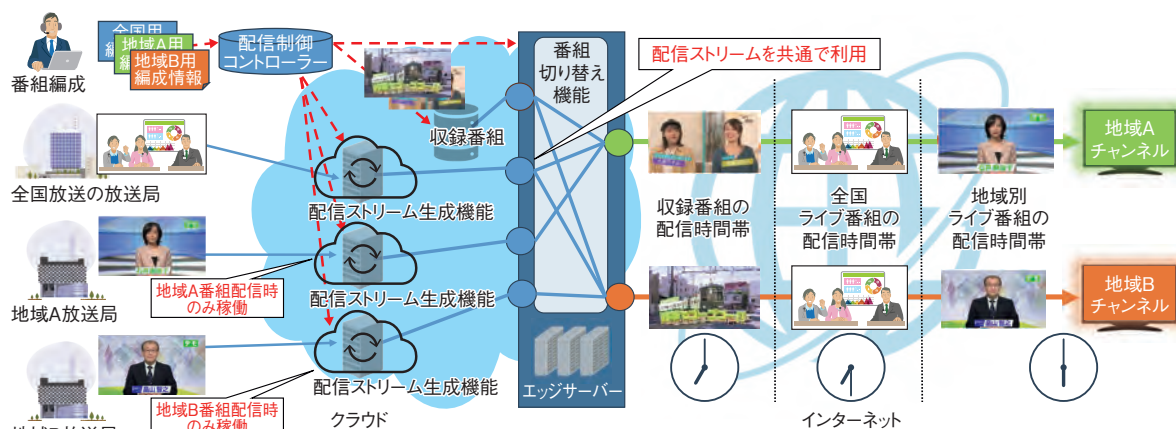
インターネット配信においては、放送よりもきめ細かく地域ごとのお勧め番組や視聴者の好みに応じた番組などを組み合わせ、多数のリニア配信チャンネルを提供することが可能と考えられる。しかし、放送と同じように1つのチャンネルの全番組を1本につなげた配信ストリームを生成する手法では、常時チャンネル数と同じ数の配信ストリームを生成する必要があるため、配信ストリーム生成にかかるクラウドの負荷が大きくなり、安定性、効率性に課題があった。

■ イベント駆動型リニア配信システムの開発

今回、配信ストリーム生成にかかるクラウドの負荷を抑えつつ、多数のリニア配信チャンネルを安定的、効率的に提供する配信システムを開発した（1図）。このシステムは、収録番組に加えて放送局のスタジオなどからリアルタイムに伝送されるライブ番組をクラウド上に集約して、番組ごとに配信ストリームを生成する。それらを基に視聴地域や視聴者の好みに応じた番組表を編成し、視聴端末との接点となる配信サーバーであるエッジサーバーにおいて、視聴端末ごとの番組表に従い各番組の配信ストリームに次々に切り替えながら配信することで、リニア配信の視聴を可能とする。

編成情報に記載されているライブ番組の配信開始・終了といった“イベント”を契機として、配信制御コントローラーで必要な時間のみクラウド上の配信ストリーム生成機能を稼働させる“イベント駆動型”のシステム管理により、クラウドの負荷を抑制する。さらに、全国放送のように複数地域のチャンネルで同じ番組が配信される時間帯は、配信ストリームを共通で利用して効率的な配信を実現する。各配信ストリームのタイムスタンプを基準時刻に従って調整することにより、番組のつなぎ目における映像の乱れや黒みなどを生じさせることなく、スムーズな番組切り替えを可能とした。

今後も、視聴者がコンテンツを視聴するさまざまな状況に応じて、必要な情報をすばやく確実に届けるための配信技術の研究開発を進めていく。



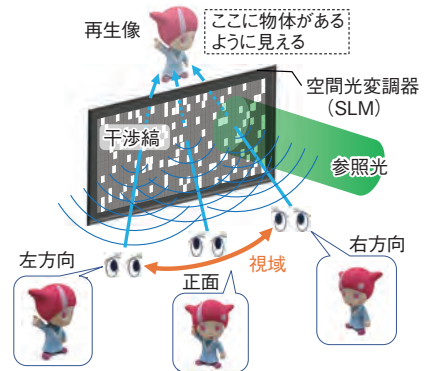
1図 開発した配信システムの概念図

ホログラフィックディスプレイの 視域拡大に向けた高密度MOSLMの開発

当所では、特別な眼鏡なしで自然な3次元映像を楽しめるホログラフィックディスプレイの研究を進めている。再生像が見られる範囲（視域）の拡大に向けて、世界最小画素ピッチ*1の磁気光学式空間光変調器（MOSLM：Magneto Optic Spatial Light Modulator）*2を開発した。

■ホログラフィーの動画表示に必要な空間光変調器

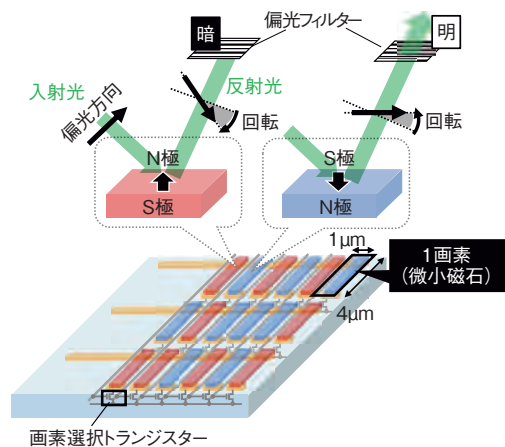
ホログラフィーは、物体がその場にあるかのような空間像を再生できる技術である（1図）。被写体からの光に別の光（レーザー光などの参照光）を干渉させて生じたパターン（干渉縞）を記録し、干渉縞に参照光を照射して空間像を再生する。テレビのように動画を表示できるホログラフィックディスプレイの実現には、干渉縞を書き換えて3次元映像を再生するデバイスが必要である。これは空間光変調器（SLM：Spatial Light Modulator）と呼ばれ、SLMに表示する干渉縞の画素間隔（ピッチ）が狭いほど視域が広がる。



1図 ホログラフィックディスプレイの原理

■高密度MOSLMの開発と動作原理

複数人で同時に再生像を見るためには広い視域が必要であるが、液晶を用いた市販のSLMでは隣接画素間の電界漏れなどの影響で画素ピッチを狭くすることが困難である。当所では、実用上必要となる水平視域30度を目指し、磁性体を利用した独自構造の高密度MOSLM（画素サイズ $1\mu\text{m} \times 4\mu\text{m}$ 、画素数 $10,000 \times 5,000$ ）を開発した（2図）。微小磁石の画素に電流を流して極性（N/S極）を反転させる技術を用いている。画素に光を照射すると、極性に応じて反射光の偏光*3面が逆方向に回転するため、干渉縞の明暗を書き換えることができる。



2図 開発した高密度MOSLMの動作原理

■広視域3次元映像の再生

開発したMOSLMに、計算機で生成した被写体の干渉縞を書き込み、参照光を照射して3次元映像を再生した（3図）。

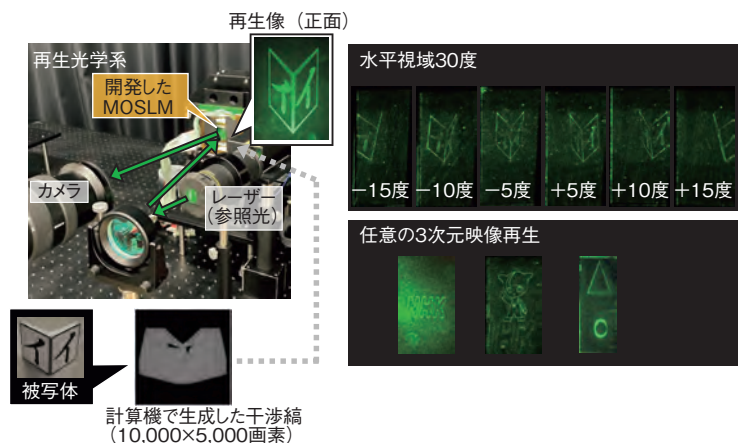
画素ピッチ $1\mu\text{m}$ に対応する水平視域30度の広い範囲で、視点に応じた3次元映像が再生できることを実証した。また、干渉縞を書き換えることで任意の3次元映像再生に成功した。

今後は、書き換えの高速化や再生像のカラー化を進めていく。

*1 2023年10月3日時点。

*2 磁性体で光が反射するときに光の偏光面が変わる物理現象を用いて光の強度や位相を変調する光変調器。

*3 光の振動が特定方向に偏った光。



3図 再生実験系統と開発したMOSLMのホログラフィー再生像

マスク着用に対応した顔認識手法

映像情報メディア学会誌, Vol.77, No.4, pp.537-545 (2023)

河合吉彦, 望月貴裕, 苗村昌秀*

※ NHK財団

映像に映る人物が誰であるかを特定する顔認識技術は、スマートフォンにおける個人認証や、イベント会場での入退場管理、映像の検索などにおいて非常に有用な技術である。顔認識における課題の1つとして、顔の隠蔽による精度の低下が挙げられる。近年、新型コロナウイルス感染症の影響によってマスクを着用する機会が増えており、マスクによる隠蔽に対応した手法が求められている。そこで本論文では、マスクを着用している人物についても、精度よく認識できる手法を提案した。具体的には、顔画像にマスクを合成することで、学習データを人工的に作成する手法を提案した。また、マスク着用者の顔認識に適したニューラルネットワークの構造と、人物がマスクを着用しているかどうかを同時に学習することで、顔認識精度を向上させる手法を提案した。ベンチマークデータセットを用いた評価実験では、マスク着用者に対する認識精度が98.94%という結果となり、比較手法の中で最も高い精度を達成した。

End-to-End Verification of the Advanced Broadcasting System

ITE Transactions on Media Technology and Applications, Vol.11, No.3, pp.113-122 (2023).

朝倉慎悟, 永田裕靖, 兜森 椋, 大西正芳, 神原浩平, 大槻一博, 土田健一*

※ NHK財団

次世代の地上放送サービス実現に向けて、地上放送高度化方式の実証を目的とした総合試験を全国4都市で実施した。具体的には、2つの4Kコンテンツと2つの2Kコンテンツを最新の映像符号化方式VVC (Versatile Video Coding) および音声符号化方式MPEG (Moving Picture Experts Group)-H 3D Audioでリアルタイム符号化した。さらに多重化したIP信号を、実験試験局に設置した地上放送高度化方式の変調装置に入力し、UHF帯の1チャンネルを使って無線伝送を行った。受信では、伝送された4K、2Kコンテンツをモニターに表示させるほか、オブジェクトベース音響を活用し、会話音声の切り替えやレベル調整等が可能な新しい放送サービス例を検証した。また、コンテンツのメディア形式を通信と共通化することで、タブレット等のブラウザ上でも視聴可能になることを示した。さらに、通信ネットワーク経由で取得したコンテンツにシームレスに差し替えるなど、放送通信連携サービスが技術的に実現可能であることを示した。

Magneto-optical Spatial Light Modulator Driven by Current-induced Domain Wall Motion for Holographic Display Applications

Optics Express, Vol.31, No.13, pp.21330-21339 (2023).

青島賢一, 船橋信彦, 東田 諒, 川那真弓, 麻生慎太郎, 柴崎純一, 山口祐太, 町田賢司

3次元映像の再生が可能なホログラフィックディスプレイ実現に向けて、超高精細の磁気光学式空間光変調器 (MOSLM: Magneto Optic Spatial Light Modulator) の研究を行っている。今回、世界最小サイズの画素 (水平 $1\mu\text{m}$ × 垂直 $4\mu\text{m}$) を $10,000 \times 5,000$ 個並べたMOSLMを試作し、任意の3次元映像再生に成功した。画素は磁性体を用いた光変調素子からなり、磁性体に電流を流すことで、N極とS極の向きを示す磁化方向を反転させることができる。画素に照射した光は、画素の磁化方向に応じて磁気光学効果により明暗が変化する。こうした動作原理に基づき光の強度を変化させる空間光変調器は、MOSLMとしてはこれまでにない新しい表示方式である。また、磁性体の持つメモリー機能により単純な画素選択回路での駆動が可能であり、水平方向 $1\mu\text{m}$ の狭画素ピッチを実現している。本MOSLMを用いて運動視差の大きな3次元映像を、水平方向30度の広い視域で再生することに成功した。

Development of a Measurement System for the Radiation Characteristics of the Human Voice

Acoustical Science and Technology, Vol.44, No.4, pp.344-347 (2023).

木下光太郎, 杉本岳大

AR (Augmented Reality) やVR (Virtual Reality) などの3次元空間コンテンツにおいて、臨場感や没入感を高める音響技術を研究している。従来は、音の到来方向を再現することでユーザーに音像の位置を知覚させる音像定位を用いることが一般的であった。しかし、3次元空間コンテンツでは音源とユーザーの相対位置関係が多様に変化する。そのため、音像の位置だけでなく、音像が向いている方向まで再現できれば、さらなる臨場感や没入感の向上が期待できる。また、音像の向きを表現するには、音源が有する方向に依存した周波数特性の変化、放射特性の再現が考えられる。コンテンツにおいては特に人の声が大部分を占めるため、人を取り囲むよう配置したマイクロホンアレーを用いて測定を行い、人声の放射特性に関する知見を収集することが必要となる。しかし、先行研究における測定環境では測定点数が少なく測定位置も固定されていた。本論文では、最大128chを収録でき、かつ測定位置も可変な柔軟性の高い測定環境を構築した。この環境で測定を行い、多様な人声の放射特性データを収集できることを確認した。

公開番号	発明考案の名称	技術概要
特開2023-77325	撮像装置及び撮像方法	自然光やLED (Light Emitting Diode) 光源などの干渉性の低い光 (インコヒーレント光) を用いたデジタルホログラフィーにおいて、光の利用効率を向上させ高画質のホログラム画像 / 再構成画像を得ることができる撮像装置および撮像方法。
特開2023-77483	番組興味データ抽出装置、番組興味データ抽出方法、番組興味データ抽出プログラム、ロボット動作決定装置、ロボット動作決定プログラム	視聴者が一人で集中して見たい番組ジャンルなのか、または他の人と感情を共有して見たい番組ジャンルなのかを、テレビ番組の視聴履歴と視聴者の表情などからテレビ視聴ロボット (人間と一緒に番組を視聴、会話などをするコミュニケーションロボット) が視聴者別に抽出する番組興味データ抽出装置、手法およびプログラムと、テレビ視聴ロボットの行動決定をするロボット動作決定装置、手法およびプログラム。
特開2023-77599	画面制御装置およびプログラム	コンテンツの演出として付与される字幕 (オープンキャプション) の有無に応じて、音声認識結果に基づく字幕 (クローズドキャプション) の表示を自動的にON / OFF制御することのできる画面制御装置およびプログラム。
特開2023-77670	送信装置および送信プログラム	映像・音声などを符号化した信号と、その制御情報とが多重化された放送 (IP放送を含む) の受信機で多重化信号にランダムアクセスする際に、映像が表示されるまでの遅延を低減することができる送信装置および送信プログラム。
特開2023-78789	光学デバイス及び可変光学装置	光学素子 (計算機合成ホログラム、メタサーフェス、レンズ、ヘリカル位相板、位相シフト素子など) において、2枚の回折光学素子の配置距離に制約が少なく、高い自由度で光学特性を変化させる光学デバイスおよび可変光学装置。
特開2023-78866	画像補正処理装置およびプログラム	制作意図に応じて、HDR (High Dynamic Range) 映像において、特定の色のみの彩度を補正することのできる画像補正処理装置およびプログラム。
特開2023-79391	放送信号変換装置及びそのプログラム	IP伝送時に、パケットサイズがMTU (Maximum Transmission Unit) を超過することを防止し、伝送効率の低下を抑制できる放送信号変換装置およびそのプログラム。
特開2023-79493	位相測定装置および位相補償装置	光導波路のピッチが極めて狭い光フェーズドアレーにおいて、各チャンネルを伝搬する導波光 (導波路内を伝搬する光) の位相測定と位相補償の精度を向上させることのできる位相測定装置および位相補償装置。
特開2023-79977	送信装置及び受信装置	大容量のデータ伝送技術として用いられるSC-FDE (Single Carrier - Frequency Domain Equalization) 方式において、シンボル判定処理の際に変調方式および誤り訂正符号に応じた最適な信号点配置のマッピングルールを用いることで、伝送性能を改善した送信装置および受信装置。
特開2023-80909	空間光変調器およびホログラムデータ生成装置並びにホログラム表示システム	ホログラムにおいて、再生した空間像の視域角 (ホログラムを観察することが可能な範囲を示す角度) を拡大することができる空間光変調器およびホログラムデータ生成装置ならびにホログラム表示システム。
特開2023-81099	学習装置、映像処理装置、送受信装置、及び送受信システム	帯域幅の狭い伝送路で高解像度映像を送受信する際に行う映像のダウンスケーリングおよびアップスケーリングの学習を、高解像度映像を用いて符号化・復号を含めてEnd-to-Endで行う学習装置、およびこの学習装置を用いて符号化効率を向上させることのできる映像処理装置、送受信装置、および送受信システム。
特開2023-81108	量子ドット発光素子及び表示装置	表示装置用発光素子において、発光層に特定の波長成分を吸収する色素を含ませることによって色純度の低下につながる波長成分を抑制した、色純度に優れた量子ドット発光素子、およびこの発光素子を用いた広色域表示が可能な表示装置。

公開番号	発明考案の名称	技術概要
特開2023-81222	測定装置及びプログラム	デジタル信号の伝送における信号品質を評価する際に、被測定信号のコンスタレーションデータを用いて、シンボル誤り率が大きい劣悪な受信環境においても受信信号の品質を正確に測定することのできる測定装置およびプログラム。
特開2023-81642	受信端末及びセグメント取得制御方法	動画のストリーミング配信において、映像シーンの内容や意味合いから映像ストリームを分割したセグメント単位で映像シーンの重要度を取得し、その重要度に基づいてセグメントごとに受信ビットレート制御を行う受信端末およびセグメント取得制御方法。
特開2023-82691	送信装置、受信装置およびプログラム	放送システムにおいて、放送用伝送路で任意のファイルを低遅延で伝送することを可能とする送信装置、受信装置およびプログラム。
特開2023-84618	放送受信システム	21GHz帯の衛星放送および標準規格に準拠する12GHz帯の衛星放送の信号を、地上デジタルテレビジョン放送の信号と混合可能な周波数に変換し、既設の同軸ケーブルを用いて宅内の受信機に伝送することが可能な放送受信システム。
特開2023-84959	奥行き制御装置及びそのプログラム	3次元CGにおいて、立体ディスプレイの奥行き再現能力の範囲内にCGの奥行きを収める奥行き圧縮の際に、映像制作者の意図を反映して奥行き圧縮することが可能な奥行き制御装置およびそのプログラム。
特開2023-85028	映像符号化装置及び映像符号化方法	解像度が異なる複数の映像信号に対して、ビットレートと映像品質との関係を表すRQ (Rate Quality) カーブを推定し、これに基づいてそれぞれの映像信号の最適な符号化ビットレートを決定して符号化することで、映像品質の向上を図る映像符号化装置および映像符号化方法。
特開2023-85691	広視野HMD装置、広視野用レンズ、広視野用レンズの製造方法、及びHMDシステム	HMD (Head Mounted Display) システムにおいて、中心視野と周辺視野を左眼および右眼とも分けて表示し、中心視野用レンズと周辺視野用レンズとを組み合わせた広視野用レンズを用いることで、水平視野角を拡大することができる広視野HMD装置、広視野用レンズ、広視野用レンズの製造方法、およびHMDシステム。
特開2023-86397	イントラ予測装置、復号装置、及びプログラム	輝度成分および色差成分により構成される画像を分割して得られたブロック単位でイントラ予測を行うイントラ予測装置において、CCLM (Cross-Component Linear Model: 成分間線形モデル) によるイントラ予測の予測精度を改善可能とするイントラ予測装置、復号装置、およびプログラム。
特開2023-87565	量子ドット発光素子及び表示装置	量子ドット発光素子において、陽極および陰極と発光層との間に電荷輸送層を配置することで、色純度の高い緑色発光が可能な量子ドット発光素子、およびこの量子ドット発光素子を用いた表示装置。
特開2023-90485	カメラ校正装置およびそのプログラム	カメラの校正を行う際に、特徴点の位置、カメラパラメータに対して、それぞれ個別に修正を行うことにより、精度の高いカメラ校正を行うことが可能なカメラ校正装置およびそのプログラム。
特開2023-91637	応答文生成装置及びプログラム	ユーザーの発話に対して、好き嫌いを表出した応答文を生成することが可能な応答文生成装置およびプログラム。
特開2023-91761	送信装置、受信装置、学習装置、無線伝送システム及び学習プログラム	デジタル無線伝送システムにおいて伝送品質の向上を図るために、ウェイトパラメータの劣化を適切に抑制することを可能とする送信装置、受信装置、学習装置、無線伝送システムおよび学習プログラム。
特開2023-93170	携帯端末装置、および、そのプログラム	ビデオスルー方式の拡張現実 (Augmented Reality)、または、仮想現実 (Virtual Reality) において、現実世界と自然に融合した映像を表示する携帯端末装置およびプログラム。

公開番号	発明考案の名称	技術概要
特開2023-97562	インコヒーレントデジタルホログラフィ撮像装置および撮像方法	ホログラフィー技術を用いて得られた被写体の再構成画像を用いて、高精度かつ高S/N比にて被写体の新たなカラー再構成画像を簡便に形成することが可能なインコヒーレントデジタルホログラフィー撮像装置および撮像方法。
特開2023-101834	補正装置及びプログラム	複数の参照画像を用いて動き補償予測を行う際に、符号化効率を改善することが可能な画像符号化装置、画像復号装置、およびプログラム。
特開2023-103881	表示装置及び信号処理方法	電流駆動型表示素子がマトリクス状に配列された、アクティブマトリクス型の表示装置において、画素の輝度変動の原因となる薄膜トランジスターの電気的特性の変動を近似式により求めて補償することで、センシングに必要な時間、および使用メモリーを削減しつつ、リアルタイムに画質補償可能な表示装置および信号処理方法。
特開2023-104353	画像表示装置、信号処理方法及び信号処理プログラム	高解像度ディスプレイにおいて、パルス密度駆動法を用いてデジタル駆動の安定性および高速性を保ちつつ、より低い駆動周波数で、高画質な映像を表示できる画像表示装置、信号処理方法及び信号処理プログラム。
特開2023-104512	音量制御装置、機器、制御システム、およびプログラム	リモコンなどのユーザー入力装置を用いて操作対象機器だけに音量の制御命令を送るという操作性を有しながら、ユーザーの意図に沿った音量の制御を操作対象機器を含む複数の機器に対して行える音量制御装置、機器、制御システム、およびプログラム。
特開2023-105676	表示装置及び信号処理方法	電流駆動型表示素子がマトリクス状に配列された、アクティブマトリクス型の表示装置において、画素の輝度変動の原因となる薄膜トランジスターの電気的特性の変動を近似式により求めて補償することで、センシングに必要な時間、および使用メモリーを削減しつつ、リアルタイムに画質補償可能な表示装置および信号処理方法。
特開2023-106878	送受信装置、プログラム、および伝送システム	放送番組等の映像コンテンツの制作において、映像選択処理装置が選択した映像を識別することによって、映像を伝送するための通信資源を効率的に割り当てることができる送受信装置、プログラム、および伝送システム。
特開2023-107143	匿名化装置及びプログラム	テキストデータに含まれる人名を簡易な手法で匿名化することが可能な匿名化装置およびプログラム。
特開2023-107570	受信装置及び受信方法	衛星放送または地上放送における階層分割多重(LDM: Layered Division Multiplexing)方式を用いた伝送システムに関する発明で、LDM方式の受信処理の性能は高階層と低階層の分離精度が大きく影響するが、その最も一般的な階層分離手法であるSIC(Successive Interference Cancellation)と同等以上の雑音耐性の高い良好な受信性能を実現でき、なおかつSICよりも受信処理に係るコストを大幅に低減させることができる受信装置および受信方法。
特開2023-109062	データマッチング装置およびそのプログラム	2者間のPSI (Private Set Intersection: 秘匿共通集合計算) プロトコルにおいて、秘密分散によって、2者間で共通のデータのみを共有するPSIプロトコルを実現することによって、どちらかがプロトコルに従わない悪意のある攻撃者であっても、他のユーザーのデータ(要素)を取得することができず、安全性を確保することが可能なデータマッチング装置およびそのプログラム。
特開2023-109087	縮小装置及びプログラム	縮小画像を生成した際に、符号化が困難な画像において、ブロック歪などのアーティファクトが発生し、画質が劣化するという課題に対して、高品質な縮小画像を生成することが可能な縮小装置およびプログラム。

公開番号	発明考案の名称	技術概要
特開2023-110197	送信装置およびそのプログラム、並びに、受信装置およびそのプログラム	放送システムにおけるサービスメタデータ、放送番組の構成（映像、音声、字幕、アプリなど）の定義や放送に関連する付加データ（番組表など）について、送信装置ではインターネットでよく利用されているテキスト形式のメッセージやファイルを含めて放送波で配信し、受信装置では、放送波を介して受信したデータに、テキスト形式のメッセージやファイルを含めて処理させることが可能な送信装置およびそのプログラム、ならびに、受信装置およびそのプログラム。
特開2023-111079	手話画像分類装置および手話画像分類プログラム	手指形状の画像的な差異に応じて分類された静止画データセットが存在しない課題に対して、機械学習用の手話画像のデータセットを生成する手話画像分類装置および手話画像分類プログラム。
特開2023-112799	情報処理装置及びプログラム	テキストデータが音声で読み上げられている状況において、そのテキストデータに含まれる用語の解説を読み上げる候補を検出し、検出した用語候補の解説を行うテキストデータを音声で読み上げることを可能とする情報処理装置およびプログラム。
特開2023-113505	ラウドネス測定装置およびプログラム	より人間の聴感に即したラウドネス値が得られるラウドネス測定装置およびプログラム。
特開2023-114359	字幕表示装置、及び字幕表示プログラム	画面に表示する字幕の一部の音声認識が確定している段階で字幕を表示し、新たに認識結果が確定するたびに字幕を更新することにより、発話から字幕を表示するまでの遅延を小さくすることができる字幕表示装置、および字幕表示プログラム。
特開2023-114388	符号化補助情報生成装置及びプログラム	原画像に対しての符号化難易度を高精度に求めることができ、符号化画質劣化や符号化画質破綻の抑制などに役立てることが可能となる符号化補助情報生成装置およびプログラム。
特開2023-114496	ホログラムデータ生成装置、電子ホログラフ表示装置およびそれらのプログラム	情報量を削減したホログラムデータを生成することで、ホログラムデータを記録する時間、伝送する時間、表示装置に書き込む時間を従来よりも短縮することができるホログラムデータ生成装置、電子ホログラフ表示装置およびそれらのプログラム。
特開2023-114588	光偏向素子およびその製造方法	異なるコアを含むハイブリッド導波路構造型であって、偏向角度拡大に必要な光出射部の狭ピッチ化を可能とする光偏向素子、および、極性分子の配向ムラの要因を排除してEO(Electro-Optic:電気光学)ポリマーを利用することができる光偏向素子の製造方法。
特開2023-115775	触覚提示信号生成装置、映像触覚連動システム、及びプログラム	映像コンテンツの映像信号のみからリアルタイムで高精度に、どのようなタイミングでどのような刺激をユーザーに提示するかを示す触覚メタデータを自動生成し、当該触覚メタデータを基にした音信号について音信号を利用し映像信号に同期させて触覚提示デバイスを駆動するための触覚提示信号を生成する触覚提示信号生成装置、生成した触覚提示信号を基に触覚提示デバイスを駆動制御する映像触覚連動システム、およびプログラム。
特開2023-117151	メディア処理装置及びユーザ端末	視点の自由度を有するコンテンツを含む特定コンテンツを適切に表示することを可能とするメディア処理装置およびユーザ端末。
特開2023-117157	メディア処理装置、送信装置及び受信装置	伝送トラフィックを抑制しながらも、特定コンテンツに含まれる3Dオブジェクトを適切に表示することを可能とするメディア処理装置、送信装置および受信装置。
特開2023-117322	アバター表示制御装置、プログラム、および、アバター表示制御方法	ユーザーの体格差に依らずに計測カメラの撮像範囲から逸脱することを抑制してアバターを描画することが可能なアバター表示制御装置、プログラム、およびアバター表示制御方法。
特開2023-117400	メディア処理装置、送信装置及び受信装置	視点の自由度を有するコンテンツを含む特定コンテンツを適切に表示することを可能とするメディア処理装置、送信装置および受信装置。
特開2023-117603	再生制御システムおよび再生制御プログラム	コンテンツの見逃しへの対処を容易にする再生制御システムおよび再生制御プログラム。

公開番号	発明考案の名称	技術概要
特開2023-117786	符号化装置、プログラム、及びモデル生成方法	ニューラルネットワークモデルを用いた量子化処理を改善する符号化装置、プログラム、およびモデル生成方法。
特開2023-117793	撮像装置	DMD (Digital Micromirror Device) を用いた符号化撮像において、装置外部から入射し、DMDで反射された不要な迷光に対して、符号化像を撮像する撮像素子 (カメラ) への混入を防止できる撮像装置。
特開2023-117977	音場再現装置及びプログラム	スペクトル除算により所望音場を再生音場にて再現する際に、スピーカーの駆動信号の導出に要する計算量を削減することができる音場再現装置およびプログラム。
特開2023-118008	衛星放送用の受信検査装置	外部電波の影響を抑えつつ、かつ簡易で安価な構成で、熟練性を要することなく左旋円偏波の伝送周波数帯を含む衛星放送の受信CN比 (Carrier to Noise Ratio) と受信レベルのいずれか一方または双方を検査または測定可能とする衛星放送用の受信検査装置。
特開2023-118105	インターリーバ、デインターリーバ、送信装置、受信装置、及びこれらのプログラム	符号長17280ビットのLDPC (Low Density Parity Check) 符号に関し、LDPC符号化率4/16、9/16、12/16、14/16に対する変調方式16QAMにおける地上デジタル放送用のインターリーバ、デインターリーバ、送信装置、受信装置、およびこれらのプログラム。
特開2023-120931	固体撮像素子および撮像装置	光電変換層兼電荷増倍層積層型の3トランジスタ型の各画素において、アバランシェ増倍作用の発生条件下における信号対ノイズの比を向上させることができる固体撮像素子および撮像装置。
特開2023-121021	音場再現装置及びプログラム	スペクトル除算によるスピーカーアレーの駆動信号を生成する際に、所望音場の音源と所望境界との間に開口部を有する壁を設置した場合において、当該壁の影響を考慮した波面を再現するスピーカーアレーを用いて音場を再現する音場再現装置およびプログラム。

学会発表論文一覧 (2023年1月～2023年6月)

論文名	発表者	誌名	巻号
インコヒーレントデジタルホログラフィーの動画撮影に向けた複数ホログラムの一括撮影技術	信川輝吉, 片野祐太郎, 萩原 啓, 室井哲彦	映像情報メディア学会誌	Vol.77, No.1, pp.114-118
コミュニケーションロボットの発話に向けたテレビ視聴時における人同士の対話分析	星 祐太, 奥田 誠, 萩尾勇太, 上村真利奈, 金子 豊, 西本友成	映像情報メディア学会誌	Vol.77, No.1, pp.149-156
Computational Reduction of the Spectral Division Method for Synthesizing Moving Sources by Source Trajectory Approximation	松井健太郎, 佐々木陽	Journal of the Acoustical Society of America	Vol.153, No.1, pp.159-167
不完全なウェイト行列を使用するSVD-MIMOにおける適応送信制御手法の検討	牧野仁宣, 佐藤貴弘, 伊藤史人, 中川孝之, 居相直彦	電子情報通信学会論文誌、B	Vol.J106-B, No.2, pp.62-77
Quantum-Dot Light-Emitting Diodes Exhibiting Narrow-Spectrum Green Electroluminescence by Using Ag-In-Ga-S/GaS _x Quantum Dots	本村玄一, 上松太郎 (大阪大学), 桑畑 進 (大阪大学), 亀山達矢 (名古屋大学), 鳥本 司 (名古屋大学), 都築俊満	ACS Applied Materials & Interfaces	Vol.15, No.6, pp.8336-8344
Web-based Distributed Architecture for Local Device Collaboration on Integrated Broadcast-broadband Systems	阿部晋矢, 瀧口 徹, 遠藤大礎, 池尾誠哉, 小松佑人, 藤津 智, 松村欣司, 藤沢 寛	Journal of Information Processing	Vol.31, pp.47-56
Bit Rate Required for Mono Audio Object in Object-based Audio Program Compressed with MPEG-H 3D Audio	杉本岳大	Acoustical Science and Technology	Vol.44, No.2, pp.93-100
Short Lattice Signature Scheme with Tighter Reduction Under Ring-SIS Assumption	梶田海成, 大竹 剛, 小川一人, 縫田光司 (九州大学), 高木 剛 (東京大学)	IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	Vol.E106-A, No.3, pp.228-240
A UHD TV Camera System With MultiPlane Phase-Detection Autofocus	菊地幸大, 船津良平, 中村友洋, 富岡宏平, 山下誉行	SMPTE Motion Imaging Journal	Vol.132, No.2, pp.32-39
FPUで地点間の機器のPTP時刻同期を可能にするIPリモート制作用無線伝送システムの開発	山口隆裕, 伊藤史人, 中川孝之, 中戸川剛, 倉掛卓也, 今村浩一郎	映像情報メディア学会誌	Vol.77, No.2, pp.253-261
ニュース要約映像作成支援システムの試作	望月貴裕, 河合吉彦, 藤森真綱, 前澤桃子, 遠藤 伶, 浅見雄一郎	映像情報メディア学会誌	Vol.77, No.2, pp.262-271
Interconversion of Captions Described by ARIB-TTML and IMSC	阿部晋矢, 藤井翔子, 小松佑人, 藤津 智, 藤沢 寛	IEICE Communications Express	Vol.12, No.4, pp.164-168
Monitoring Tool for IP-based Program-production Systems in Conjunction with NMOS Control Information	小山智史, 倉掛卓也	ITE Transactions on Media Technology and Applications	Vol.11, No.2, pp.93-100
Image Quality Assessment Procedure for Holographic Displays Based on Exact Numerical Reconstruction of Computer-generated Holograms	東田 諒, 三浦雅人, 山口祐太, 船橋信彦, 青島賢一, 町田賢司, 山口雅浩 (東京工業大学)	Journal of the Optical Society of America A	Vol.40, No.4, pp.B15-B24
Haptic Presentation System Synchronized With Live Sports Broadcasts at Public Viewing Events	高橋正樹, 石渡太智, 佐野雅規	SMPTE Motion Imaging Journal	Vol.132, No.3, pp.61-66
Development of Cu-In-Ga-S Quantum Dots with a Narrow Emission Peak for Red Electroluminescence	Chang Jiang (名古屋大学), 都澤 諒 (名古屋大学), 秋吉一孝 (名古屋大学), 亀山達矢 (名古屋大学), 山本剛久 (名古屋大学), 本村玄一, 藤崎好英, 上松太郎 (大阪大学), 桑畑 進 (大阪大学), 鳥本 司 (名古屋大学)	The Journal of Chemical Physics	Vol.158, No.16, pp.164708.1-164708.12
Bandgap Engineering for Ultralow-Voltage Operation of Organic Light-Emitting Diodes	佐藤千夏 (東京理科大学), 岡田拓也, 大野 拓, 佐々木翼, 清水貴央, 深川弘彦	Advanced Optical Materials [Early View]	DOI:10.1002/adom.2300683, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adom.202300683>, (First published: 19 May 2023)
Fabrication of Stacked CMOS Image Sensor with NiO/Ga ₂ O ₃ UV Photoconversion Films Using Low-Oxygen RF-Sputtered NiO for Transparent Image Sensor	峰尾圭忠, 為村成亨, 宮本裕司, 後藤正英	IEEE Sensors Letters	Vol.7, No.6, 3501204, pp.1-4

学会発表論文一覧 (2023年1月～2023年6月)

論文名	発表者	誌名	巻号
Perceptual Assessment of Image and Depth Quality of Dynamically Depth-Compressed Scene for Automultiscopic 3D Display	宮下山斗, 澤島康仁, 小峯一晃	IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	Vol.29, No.6, pp.3067-3080
Web-based Force-directed Adaptive Device Selection for User Notification	阿部晋矢, 藤井翔子, 佐藤辰哉, 小松佑人, 藤津 智, 藤沢 寛	Journal of Information Processing	Vol.31, pp.404-412
Magneto-Optical Spatial Light Modulator Driven by Current Induce Domain Wall Motion for Holographic Display Application	青島賢一, 船橋信彦, 東田 諒, 川那真弓, 麻生慎太郎, 柴崎純一, 山口祐太, 町田賢司	Optics Express	Vol.31, No.13, pp.21330-21339

研究会・年次大会等発表一覧 (2023年6月～2023年9月)

題目	発表者	発表先／誌名	資料番号	発表年月日
高精細な3次元情報の取得に向けたインコヒーレントデジタルホログラフイーの研究	信川輝吉, 片野祐太郎, 後藤正英, 萩原 啓, 室井哲彦	HODIC鈴木・岡田記念賞講演 技術部門賞 [日本光学会ホログラフィック・ディスプレイ研究会主催]	-	2023.6.2
A Bayesian Perspective on Noise2Noise: Theory and Extensions	Sarah Miller (デイトン大学), Christina M Karam (Huddly), Achour Idoughi (デイトン大学), 菊地幸大, 平川恵悟 (デイトン大学)	2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2023)	IEEE, SPTM-P1.8	2023.6.4～10
野球中継における画像認識を用いた解説自動付与	島野雄貴, 栗野裕也, 高橋正樹, 宮崎 勝, 佐野雅規, 今井 篤 (NHK財団), 都木 徹 (NHK財団)	2023年度(第37回)人工知能学会全国大会講演論文集	103-GS-7-01	2023.6.6～9
AI Application for Enhanced Accessibility of Live Sports Broadcast -Automated Audio Descriptions of Sports Contents Toward "Leave No One Behind" -	栗野裕也, 島野雄貴, 高橋正樹, 佐野雅規, 今井 篤 (NHK財団), 都木 徹 (NHK財団)	BroadcastAsia 2023 in Asia Tech x Singapore	-	2023.6.7～9
ミリ波4Kワイヤレスカメラの番組運用	山岸史弥, 松崎敬文, 伊藤史人, 田中伸明, 中川孝之, 居相直彦, 中戸川剛	映像情報メディア学会技術報告	Vol.47, No.18, BCT2023-45, pp.1-4	2023.6.9
地上テレビジョン放送高度化方式におけるサブフレーム間インターリーブの検討	宮坂宏明, 竹内知明, 岡野正寛	映像情報メディア学会技術報告	Vol.47, No.18, BCT2023-46, pp.5-8	2023.6.9
Machine Translation to Sign Language Using Post-translation Replacement without Placeholders	宮崎太郎, 中谷真規, 内田 翼, 金子浩之, 佐野雅規	Eighth International Workshop on Sign Language Translation and Avatar Technology (SLTAT 2023)	WP-B-5	2023.6.10
Motion Editing Tool for Reproducing Grammatical Elements of Japanese Sign Language Avatar Animation	内田 翼, 中谷真規, 宮崎太郎, 金子浩之, 佐野雅規	Eighth International Workshop on Sign Language Translation and Avatar Technology (SLTAT 2023)	WP-B-10	2023.6.10
Generating Utterances for Companion Robots Using Television Program Subtitles	萩尾勇太, 奥田 誠, 上村真利奈, 金子 豊, 大亦寿之	Proceedings of the 2023 ACM International Conference on Interactive Media Experiences (IMX '23)	ACM, pp.254-261	2023.6.12～15
Survey on the Impact of Listening to Audio for Adaptive Japanese Subtitles and Captions Ruby	阿部晋矢, 藤井翔子, 美野秀弥, 後藤 淳, 大竹 剛, 藤津 智, 松村欣司, 藤沢 寛	Proceedings of the 2023 ACM International Conference on Interactive Media Experiences (IMX '23)	ACM, pp.344-351	2023.6.12～15
A Proposal for Quality Evaluation Method of Ultra-high Order QAM Signal	平林祐紀, 朝倉慎悟, 神原浩平	18th IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB 2023)	[Session A2: PHY Layer Signal Processing]	2023.6.14～16
Avatar-based Japanese Sign Language Generation System	内田 翼	EBU Access Services Experts Meeting 2023	-	2023.6.15～16
[招待講演] 高精細な3次元撮像のためのインコヒーレントデジタルホログラフイーの研究	信川輝吉, 片野祐太郎, 後藤正英, 萩原 啓, 室井哲彦	第48回光学シンポジウム講演予稿集 [日本光学会主催]	pp.1-6	2023.6.22～23
OLEDにおける正孔注入機構の解明と青色TADF-OLEDの省電力化	大野 拓, 岡田拓也, 佐々木翼, 清水貴央, 深川弘彦	2023年第36回有機EL討論会例会予稿集	S5-5, pp.29-30	2023.6.22～23
TV視聴コミュニケーションロボットの感情表現動作についての研究	橋田規子 (芝浦工業大学), 佐々木陸 (芝浦工業大学), 上村真利奈, 金子 豊, 奥田 誠, 西本友成, 大亦寿之	第70回日本デザイン学会研究発表大会概要集	10D-05	2023.6.23～26
Recent Progress in Flexible and Stretchable Backplane Technologies for Future Deformable Display Applications	宮川幹司, 辻 博史, 武井達哉, 山本敏裕 (NHK財団), 藤崎好英, 中田 充	Proceedings of the 30th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (AM-FPD '23)	S4_3, pp.190-193	2023.7.4～7
Fabrication of Concave-shaped Ultra-thinned FDSOI CMOS Circuit for Curved Image Sensor	為村成亨, 後藤正英, 堺 俊克, 佐藤弘人	5th IEEE International Conference on Flexible, Printable Sensors and Systems (FLEPS 2023)	[PaperID 3011]	2023.7.9～12
右左旋共用に向けた21GHz帯放送衛星搭載用アレー給電鏡面修整反射鏡アンテナの検討	亀井 雅, 長坂正史	電子情報通信学会技術研究報告 SAT 衛星通信	Vol.123, No.105, AP2023-34, SANE2023-24, SAT2023-15, pp.33-36	2023.7.12～14

研究会・年次大会等発表一覧 (2023年6月～2023年9月)

題目	発表者	発表先/誌名	資料番号	発表年月日
SVD-MIMOにおける機械学習によるウェイト行列劣化補償のFPGA実装	牧野仁宣, 中川孝之	電子情報通信学会技術研究報告 RCS 無線通信システム	Vol.123, No.108, RCS2023-99, pp.103-108	2023.7.12 ~ 14
3Dとホログラフィーの30年とこれから	信川輝吉	3次元画像コンファレンス 2023 特別企画/パネルディスカッション	-	2023.7.13 ~ 14
An Animated Computer Generated Hologram in Hardcopy Based on Ray-Wavefront Conversion	項 福林 (東京工業大学), 橋本和也 (東京工業大学), 東田 諒, 坂本 匠 (東京工業大学), 武山彩織 (東京工業大学), 山口雅浩 (東京工業大学)	3次元画像コンファレンス講演論文集 2023	1-3	2023.7.13 ~ 14
1次元位相格子を用いた空間分割位相シフトインコヒーレントデジタルホログラフィー	信川輝吉, 臼井真広, 片野祐太郎, 後藤正英, 萩原 啓, 室井哲彦	3次元画像コンファレンス講演論文集 2023	4-3	2023.7.13 ~ 14
透明球を仮想共役位置に配置した再帰反射による空中結像 (AIRR) 光学系のMTF向上	滝山和晃 (宇都宮大学), 陶山史朗 (宇都宮大学), 正岡顕一郎, 山本裕紹 (宇都宮大学)	3次元画像コンファレンス講演論文集 2023	5-4	2023.7.13 ~ 14
Direct-View Integral 3D/2D Convertible Display Using Geometric Phase Lens Array	渡邊隼人, 岡市直人, 加納正規, 佐々木久幸, 洗井 淳	3次元画像コンファレンス講演論文集 2023	6-3	2023.7.13 ~ 14
回転式線光源アレイを用いた全方向視差3Dディスプレイ	加納正規, 岡市直人, 洗井 淳	3次元画像コンファレンス講演論文集 2023	6-4	2023.7.13 ~ 14
インテグラル3D表示の慣性センサ情報併用による視点追従機能改善	佐々木久幸, 加納正規, 岡市直人, 渡邊隼人, 三科智之	3次元画像コンファレンス講演論文集 2023	5-3	2023.7.13 ~ 14
ライトフィールド技術を活用したヘッドマウントディスプレイの開発	前田恭孝, 小出大一, 久富健介	日本光学会 光設計研究グループ 第74回研究会	No.74, pp.22-27	2023.7.14
Display Week 2023報告—Flexible Displays and e-Paper/ Outdoor Displays—	宮川幹司	SID Display Week 2023報告会 [SID日本支部主催]	No.9	2023.7.21
TV映像における顔認識手法の評価	苗村昌秀 (NHK財団), 望月貴裕, 河合吉彦	映像情報メディア学会技術報告	Vol.47, No.20, ME2023-67, pp.19-22	2023.7.21
Privacy-Preserving Data Management and Provision System for Personal Data Store	梶田海成, 大竹 剛, 松村欣司	5th International Conference on HCI for Cybersecurity, Privacy and Trust (HCI-CPT)	Posters, pp.90-96	2023.7.23 ~ 28
Photoluminescence Enhancement of Ag-In-Ga-S Quantum Dots by Na Doping for the Application to Light-emitting Diodes	都澤 諒 (名古屋大学), 宮前千恵 (名古屋大学), 本村玄一, 亀山達矢 (名古屋大学), 上松太郎 (大阪大学), 桑畑 進 (大阪大学), 鳥本 司 (名古屋大学)	31st International Conference on Photochemistry (ICP 2023)	P25-050	2023.7.23 ~ 28
Narrowing the Emission Peak of Cu-In-Ga-S Quantum Dots for High Chromatic Electroluminescence	江 暢 (名古屋大学), 秋吉一孝 (名古屋大学), 亀山達矢 (名古屋大学), 本村玄一, 藤崎好英, 上松太郎 (大阪大学), 桑畑 進 (大阪大学), 鳥本 司 (名古屋大学)	31st International Conference on Photochemistry (ICP 2023)	P25-061	2023.7.23 ~ 28
外部匿名性を満たす放送型検索可能暗号の一般的構成	江村恵太 (情報通信研究機構), 梶田海成, 大竹 剛	電子情報通信学会技術研究報告 ISEC 情報セキュリティ	Vol.123, No.129, ISEC2023-22, pp.52-59	2023.7.24 ~ 25
階層分割多重を適用する地上放送高度化方式の室内実験評価	佐藤明彦, 平林祐紀, 神原浩平, 岡野正寛	映像情報メディア学会技術報告	Vol.47, No.21, BCT2023-49, pp.1-4	2023.7.27 ~ 28
階層分割多重を適用する地上放送高度化方式の野外実験評価	平林祐紀, 佐藤明彦, 神原浩平, 岡野正寛	映像情報メディア学会技術報告	Vol.47, No.21, BCT2023-50, pp.5-8	2023.7.27 ~ 28
地上放送高度化方式に対応したSTL/TTL伝送方式のフィールド実験による検証	島崎智拓, 梅内哲也, 永田裕靖, 中川孝之	映像情報メディア学会技術報告	Vol.47, No.21, BCT2023-53, pp.17-20	2023.7.27 ~ 28

研究会・年次大会等発表一覧 (2023年6月～2023年9月)

題目	発表者	発表先／誌名	資料番号	発表年月日
地上放送高度化方式のPTPを用いた遅延制御によるSFNフィールド検証	永田裕靖, 島崎智拓, 梅内哲也, 中川孝之, 大槻一博	映像情報メディア学会技術報告	Vol.47, No.21, BCT2023-54, pp.21-24	2023.7.27～28
映像符号化技術を利用した手話放送システム	市ヶ谷敦郎, 岩村俊輔, 根本慎平	映像情報メディア学会技術報告	Vol.47, No.21, BCT2023-57, pp.33-36	2023.7.27～28
衛星放送受信アンテナ用12/21GHz帯周波数共用ホーンアンテナ放射パターンの検討	長坂正史, 亀井 雅	映像情報メディア学会技術報告	Vol.47, No.21, BCT2023-63, pp.57-60	2023.7.27～28
Scene-adaptive Imaging Technology for Content Production in Immersive Media	富岡宏平	Technical Talks of CTSoc (The IEEE Consumer Technology Society)	-	2023.7.28
フレキシブルCMOSイメージセンサーの回路特性評価と凹面形成プロセスの開発	為村成亨, 後藤正英, 佐藤弘人	第14回集積化MEMS技術研究ワークショップ講演予稿集	P01, p.6	2023.8.2
[招待講演]伸縮可能なディフォーダブルディスプレイのバックプレーン技術の開発	宮川幹司, 辻 博史, 武井達哉, 山本敏裕 (NHK財団), 藤崎好英, 中田 充	映像情報メディア学会技術報告	Vol.47, No.23, IDY2023-30, pp.22-25	2023.8.4
System Verification of Advanced ISDB-T	神原浩平	SET EXPO Congress 2023	[Session:CALL FOR PAPERS-SET INTERNATIONAL JOURNAL OF BROADCAST ENGINEERING (SET IJBE)-1ST EDITION]	2023.8.7～10
Holographic Display Using Magneto-Optical Spatial Light Modulator With 50-M Pixels and 1- μ m Pixel Pitch	東田 諒, 川那真弓, 青島賢一, 船橋信彦	Optica Imaging Congress 2023 (Digital Holography and Three-Dimensional Imaging)	JTu4A.47	2023.8.14～17
Space-Division Phase-Shifting Incoherent Digital Holography With a Liquid Crystal Lens	信川輝吉, 臼井真広, 片野祐太郎, 後藤正英, 萩原 啓, 室井哲彦	Optica Imaging Congress 2023 (Digital Holography and Three-Dimensional Imaging)	HW3D.6	2023.8.14～17
Metasurface for Complex Amplitude Detection Based on a Generalized Four-Step Phase-Shifting Interferometer	信川輝吉, 東田 諒, 宮本泰敬, 萩原 啓	Optica Imaging Congress 2023 (Flat Optics)	FM3F.5	2023.8.14～17
Modeling and Reproduction of Sound Field by Moving Complex Sound Source	佐々木陽	52nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-noise 2023)	2-8-3	2023.8.20～23
Complex Amplitude Measurement with Off-axis and Phase-shifting Methods for Characterizing and Evaluating Metasurfaces	信川輝吉, 東田 諒, 萩原 啓	SPIE Optics + Photonics 2023	12684-24	2023.8.20～24
Charge Injection Mechanism in OLEDs	深川弘彦	IMID 2023 Tutorials (23rd International Meeting on Information Display)	3	2023.8.22～25
[Invited] Quantum-Dot Light-Emitting Diodes with Pure Color Electroluminescence Using Ag-In-Ga-S Quantum Dots	本村玄一, 大久 哲, 上松太郎 (大阪大学), 桑畑 進 (大阪大学), 亀山達矢 (名古屋大学), 鳥本 司 (名古屋大学), 藤崎好英	IMID 2023 DIGEST (23rd International Meeting on Information Display)	A49-2, p.245	2023.8.22～25
[Invited] Efficient and Stable Hole Injection into Organic Light-Emitting Diodes by Controlling Charged States of Acceptor Molecules	深川弘彦, 大野 拓, 岡田拓也, 佐々木翼, 清水貴央	IMID 2023 DIGEST (23rd International Meeting on Information Display)	D12-4, p.56	2023.8.22～25
Requirements for 6DoF Audio Service and 6DoF Audio Metadata	杉本岳大, 長谷川知美, 岩崎泰士, 久保弘樹, 大出訓史, 大久保洋幸 (NHK財団)	2023 AES International Conference on Spatial and Immersive Audio	Conference Paper 33	2023.8.23～25
コンテンツ発見システムの試作	遠藤大礎, 安岡 諒, 佐藤辰哉, 大亦寿之, 松村欣司, 藤沢 寛	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	11B-1	2023.8.30～9.1
構造化データによる放送サービスの読み上げ機能の試作	安岡 諒, 佐藤辰哉, 遠藤大礎, 大亦寿之, 松村欣司, 藤沢 寛	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	11B-2	2023.8.30～9.1

研究会・年次大会等発表一覧 (2023年6月～2023年9月)

題目	発表者	発表先／誌名	資料番号	発表年月日
放送番組とWebページの遷移に関する設計と試作	佐藤辰哉, 安岡 諒, 遠藤大礎, 大亦寿之, 松村欣司, 藤沢 寛	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	11B-3	2023.8.30～9.1
Web ベース個人向け字幕プレイヤーの初期試作と検証	阿部晋矢, 大亦寿之, 藤沢 寛	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	11B-4	2023.8.30～9.1
マルチレイヤ符号化を用いた放送サービス	井口和久, 根本慎平, 岩村俊輔, 市ヶ谷敦郎	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	11B-5	2023.8.30～9.1
電流誘起磁壁移動を用いた空間光変調器によるホログラム再生	東田 諒, 川那真弓, 青島賢一, 船橋信彦	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	11C-5	2023.8.30～9.1
端末連携プロトコルを活用した放送とアプリの連携技術の開発	飯田明寛, 澤井里枝, 藤井亜里砂, 大亦寿之	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	12B-1	2023.8.30～9.1
放送非依存マネージドアプリケーションの拡張による放送とアプリの連携技術の開発	大亦寿之, 飯田明寛, 澤井里枝, 藤井亜里砂	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	12B-2	2023.8.30～9.1
サービス横断的パーソナルデータ活用に向けたデータ管理アプリの試作	毛利拓海, 山村千草, 松村欣司	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	12B-3	2023.8.30～9.1
地上テレビジョン放送高度化方式の機能検証ー低遅延伝送機能の実証ー	朝倉慎悟, 平林祐紀, 神原浩平, 岡野正寛	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	12B-4	2023.8.30～9.1
地上放送高度化方式におけるTDMとFDMを組み合わせた階層伝送による移動受信特性の評価	宮坂宏明, 竹内知明, 岡野正寛	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	12B-5	2023.8.30～9.1
シーンに応じて解像度・フレームレート・露光時間をエリア制御するイメージセンサー	富岡宏平, 菊地幸大, 薄井武順, 北村和也, 川人祥二 (静岡大学)	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	12C-1	2023.8.30～9.1
サブフレーム読み出し方式を用いたエリア制御イメージセンサー出力の補間信号処理方法の検討	薄井武順, 菊地幸大, 富岡宏平, 北村和也	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	12C-2	2023.8.30～9.1
フレキシブルフィルムを貼合したガラス基板を用いたFTアクティブピクセルセンサの試作	今村弘毅, 佐藤弘人	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	12C-3	2023.8.30～9.1
超高精細度テレビジョンカメラ用の可変NDフィルタの開発	斎田有宏 (三井光機製作所), 正岡顕一郎	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	12C-4	2023.8.30～9.1
2次元分光放射計のMTF測定とディスプレイ計測への影響	渡 翼 (千葉大学), 田中 緑 (千葉大学), 堀内隆彦 (千葉大学), 正岡顕一郎	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	13A-1	2023.8.30～9.1
カチオン混合による逆構造ヘロプスカイト量子ドットEL素子の発光ピーク波長制御	大久 哲, 本村玄一, 及川凌輔 (山形大学), 溝口翔希 (山形大学), 千葉貴之 (山形大学), 藤崎好英	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	13A-3	2023.8.30～9.1
オブジェクトベース音響に対応した簡易ミキシングシステムの開発	久保弘樹, 岩崎泰士, 大出訓史	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	13B-1	2023.8.30～9.1
高度化STL/TTLによる地上放送高度化方式のSFNフィールド実験	梅内哲也, 島崎智拓, 永田裕靖, 中川孝之	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	13B-4	2023.8.30～9.1
BS受信用平面アンテナの基礎検討	長坂正史, 亀井 雅	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	13B-5	2023.8.30～9.1
符号化撮像によるインコヒーレントデジタルホログラフィーの空間解像度向上手法	片野祐太郎, 臼井真広, 信川輝吉, 萩原 啓, 室井哲彦	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	13C-1	2023.8.30～9.1
静電気力を用いたVR視野誘導	澤島康仁, 原澤賢充, 小峯一晃	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	21C-1	2023.8.30～9.1
VR映像における視点変化が酔いと実在感に及ぼす影響	前澤知輝, 原澤賢充, 小峯一晃	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	21C-5	2023.8.30～9.1
個性を感じさせるテレビ視聴ロボットの開発に向けた番組への興味変化モデルの提案	上村真利奈, 金子 豊, 奥田 誠, 萩尾勇太, 大亦寿之	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	22B-5	2023.8.30～9.1
字幕制作効率化のための音声認識エラー検出手法	菅野竜雅, 佐藤裕明, 佐久間旭, 熊野 正, 河合吉彦, 山田一郎, 小川哲司 (早稲田大学)	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	23B-3	2023.8.30～9.1
メタスタジオにおける3D形状補正技術	盛岡寛史, 三須俊枝, 久富健介	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	31B-1	2023.8.30～9.1

研究会・年次大会等発表一覧 (2023年6月～2023年9月)

題目	発表者	発表先／誌名	資料番号	発表年月日
ARグラスを用いた空中ボリュメトリックTVにおける2次元映像と実写3次元映像の同時視聴スタイル	吉野数馬 (NHK財団), 半田拓也	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	31B-4	2023.8.30～9.1
句や節のまとまりを考慮した任意文手話CG生成システムの開発	中谷真規, 内田 翼, 宮崎太郎, 金子浩之, 佐野雅規	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	31B-5	2023.8.30～9.1
6DoF音響コンテンツの制作要件	杉本岳大, 長谷川知美	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	32B-4	2023.8.30～9.1
2つの焦点距離を持つレンズアレイを活用したライトフィールドHMDの奥行き再現範囲の拡大	前田恭孝, 小出大一, 佐々木久幸, 半田拓也, 久富健介	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	32B-5	2023.8.30～9.1
視点位置・速度に応じた光線追跡法による効率的な要素画像生成手法	加納正規, 岡市直人, 渡邊隼人, 佐々木久幸, 洗井 淳	2023年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	32B-8	2023.8.30～9.1

編集委員会

編集長	村山 研一
委員	相原 聡／本田 悠葵／奥田 誠／川本 潤一郎 中島 奈緒／田高 礼子／小出 大一／岸田 雅彦
事務局	深川 弘彦
幹事	田中 克／絹山 裕子

NHK技研R&D No.195 (2023年秋号)

2023年11月15日発行

編集・発行	日本放送協会 放送技術研究所 ©2023 日本放送協会 〒157-8510 東京都世田谷区砧1-10-11 電話 03-3465-1111 (NHK代表) ホームページ https://www.nhk.or.jp/str/
制作・印刷	株式会社 NHKビジネスクリエイト 〒150-0047 東京都渋谷区神山町5-5 NRビル1F 電話 03-3469-8230

※本誌は、「著作権法」によって著作権等の権利が保護されている著作物です。
※本誌に掲載されている会社名・製品名は、一般に各社の商標または登録商標です。

NHK