特別寄稿

常識の先のメディア

東京工業大学　工学院　教授　山口（やまぐち） 雅浩（まさひろ）さん

ディスプレイのカラー画像が，赤（Red）・緑（Green）・青（Blue）の三原色で成りたっていることは，色に関する常識の1つである．人間が三種類の視細胞で色を知覚しているからだ．一方で，「RGB（Red，Green，Blue）の光を混ぜ合わせれば，すべての色が表示できる」といった記述を時折見かけるが，これは誤りだ．もう少し詳しい知識があれば，RGBだけではディスプレイに表示できない色があることが分かる．RGBの原色より鮮やかな色は，光の加法混色では表示することはできないのだ．

筆者が多原色ディスプレイの研究を国際的な学会で発表したのは1998年であったが［1］，すでにその数年前にホログラフィーの研究の中で，多原色ディスプレイのもとになる分光ディスプレイ*1の概念を着想していた．しかしその時点では，色は三原色という常識にとらわれていたため，研究として進展しなかった．

その後，カメラやディスプレイによる映像システムの色再現能力を高めるには三原色だけでは不十分で，分光イメージング*2の応用が有効であることを知り，多原色ディスプレイの意義を認識するに至った．そして本格的な研究に取り組むことになり，上記の発表につながった．当初から三原色という常識にとらわれていなければ，より早く成果を得て，異なる展開につながったかもしれない．

多原色ディスプレイの発表後は，画像撮影からディスプレイ表示まで分光イメージングや多原色技術を融合し，既存の三原色の枠組みを超えた「スペクトルに基づく映像色再現システム」［2］の開発を進めることになった．

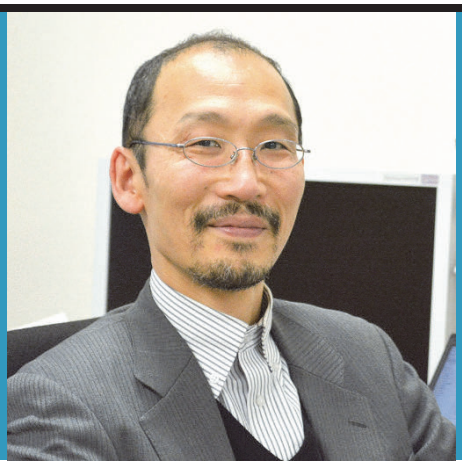
分光映像技術は，実物に忠実な色を高精度に再現することに加え，「異なる照明環境の下での色がどうなるか」「撮影環境に依存せず色を数値的に解析できないか」「見た目では同じ色でも材質の違う物体を見分けられないか」といった課題への有効なアプローチになる．分光映像技術を用いたセンサは，今後携帯端末のセンサデバイスとしても搭載すればさまざまな応用に発展する可能性がある．

このように従来の三原色という常識を超えた色表現ができる新しいメディアは大きな意義があるが，その有効性を伝えることは簡単ではない．理論的な説明だけでは当然限界があるので，デモンストレーションを行うことが必要であるが，現在使われているメディアは三原色のシステムなので多原色の良さを見せられない．つまり既存メディア上では新しいメディアを体験できないというジレンマがあるのだ．しかし，実際にデモンストレーションによっていったん新しいメディアを体験すると既存のものでは満足できなくなる，といった感想が多数ある．未知のメディアの実体験をいかにして可能にするか，常識の先にあるメディアを具現化するために労力を割かなければならない．

立体（3D）映像も今後の視覚メディアの有力な方向性である．3Dディスプレイといえば，右目と左目で違う映像を見せるという理解が一般的である．一方，ホログラフィーやライトフィールドディスプレイ*3は，右目・左目で違う映像を見るといった考え方とは異なり，物体から発する光をそのまま再現すれば，観察者には実物を見ている場合と同じ光が届くという仕組みになっている．「立体的に見える映像を表示」するのではなく，ディスプレイという窓を通じて「3次元の空間を再現」する技術と言える．実物の質感をそのままに，あるいは仮想的な物体を，あたかも実物がそこにあるかのように空間として知覚できる．

ホログラフィーやライトフィールドは新しい技術ではないが，デバイスや処理能力の進歩に伴って，実用可能になる時期が近づいている．従来のディスプレイでは，表示画面から一定距離だけ離れた位置から映像を鑑賞する．これに対してライトフィールドやホログラフィーのような空間を再現するディスプレイは，スクリーンの向こう側に別世界を造り出し，ディスプレイのすぐ前から覗き込むといった，従来の常識的な映像観察とは全く異なる見方が可能になる．このようなディスプレイが普及したら，果たしてどんな視覚体験を提供できるのだろうか．

ホログラフィーは，光の干渉と回折の現象を利用して波面を再生する技術であり，専門的には，光線によって空間を再現するライトフィールドとは原理



Profile

1989年東工大物理情報工学専攻修士修了，同年より東工大像情報工学研究施設助手．その間1994～1995年アリゾナ大学客員研究員．1996年同助教授，准教授を経て2011年同学術国際情報センター教授，2016年より同工学院教授．3次元・カラー画像工学，分光画像，ホログラフィー，病理画像解析，ICカード関連システムなどの研究開発に従事．1999～2006年通信・放送機構（現NICT）赤坂ナチュラルビジョンRC・サブリーダ兼務．2011～2017年CIE TC8-07 Multispectral Imaging 技術委員会主査．博士（工学）．

が異なるという考え方が常識である．ところが，そのような常識に縛られなければ光線と波面のハイブリッドな方式を考えることもできて，波面再生の概念だけでは表現が難しい，透明感や光沢感・質感などをもつ映像を再現することも可能になる［3］．

ホログラフィーの技術を用いると，レンズやミラーのような光学素子の機能を薄いシート状の素子で実現できる．一般的なディスプレイは表示画面の枠の中に映像を表示するが，ホログラフィーの技術を用いて作成した光学素子（ホログラフィック光学素子と呼ばれる）を用いると，画面の枠なしに空中に映像を表示することもできる［4］［5］．画枠がなく空中に浮かぶ像は，平面像であっても立体感をもたらすため，このような映像技術は従来に無い効果をもつ映像メディアになり得る．

ホログラフィック光学素子は，ディスプレイだけでなくカメラによる画像入力へも応用することができる．現在，多くの情報端末はディスプレイとカメラを備えている．ビデオ通話や自撮りの際には画面を見ながらカメラでユーザの顔を撮影する．カメラはディスプレイの上方に付いていることが多いのでビデオ通話の場合，斜め上から撮影した映像になり，視線が下向きで通話の相手と視線が合わない．映像を加工してあたかも相手を見ているように作り変えるソフトもあるが，もしディスプレイとカメラを同じ場所に配置できれば，本当に相手と視線が合っている映像を撮ることができる．ホログラフィック光学素子は薄いシート状の素子であり半透明鏡の機能をもてるので［5］，ディスプレイ表面などに貼り付けることでカメラ機能をもたせることができ，画面を注視している自分の顔を正面から撮影することが可能になる．

従来の常識の先にあるメディア技術．拙い文章では到底伝わらないと思うが，筆者らの取組みを中心に紹介した．今後はさらに従来の発想では想像できない新しいメディアを創造していかないとメディア技術の将来は無い．そして今やインフラであるスマートフォンや携帯端末の領域から目に見える形で具現化することで，そのインパクトを明らかにし，さらには新たな発想のコンテンツや使い方も開拓していくことを期待したい．

文　献

［1］ M. Yamaguchi, T. Ajito and N. Ohyama：“Multiprimary color display using holographic optical element,” Proc. SPIE, Vol.3293, pp.70-77, Mar. 1998.

［2］ M. Yamaguchi, H. Haneishi and N. Ohyama：“Beyond Red-Green-Blue (RGB)：Spectrum-Based Color Imaging Technology,” Journal of Imaging Science and Technology, Vol.52, No.1, pp.010201 01-15, Jan. 2008.

［3］ S. Igarashi, T. Nakamura, K. Matsushima and M. Yamaguchi：“Efficient tiled calculation of over-10-gigapixel holograms using ray-wavefront conversion,” Opt. Express, Vol.26, No.8, pp.10773-10786, Apr. 2018.

［4］ M. Yamaguchi：“Full-Parallax Holographic Light-Field 3-D Displays and Interactive 3-D Touch,” Proc. of the IEEE, Vol.105, No.5, pp.947-959, Jan. 2017.

［5］ 木村 真治，中村 友哉，高橋 俊介，五十嵐 俊亮，虎島 史歩，山口 雅浩，油川 雄司：“ホログラフィック光学素子を用いた映像コミュニケーションシステムに関する研究，”電子ディスプレイ研究会，信学技報，2018.

＊1　分光ディスプレイ：通常のディスプレイでは三原色で色を表示するので，表示される光のスペクトルは実物から発する光と異なる．これに対して分光ディスプレイでは，ディスプレイの各画素で任意のスペクトルを表示できるので，実物と同じスペクトルの表示も行える．人間の視覚特性の研究や，撮像装置の特性評価などに用いられている．多原色ディスプレイは，4以上の原色で色を表示するものであるが，ある程度原色数が多ければ分光ディスプレイとしても使うことができる．

＊2　分光イメージング：光の波長ごとに多数のチャネルで画像を取得し，表示・解析などに活用する技術．このようにして取得された画像を分光画像と呼ぶ．人工衛星から地表を撮影するリモートセンシング，医療や生体の解析を行うバイオイメージング，農業や食品の品質管理，高精度な色再現などに利用されている．近年では画像認識技術と融合した車載センサなどへの応用についても検討が進んでいる．

＊3　ライトフィールドディスプレイ：ライトフィールドとは，実空間上のある一点を通ってさまざまな方向に進む光を，空間上の位置と進行方向ごとに記述した表現形式で，カメラ・ディスプレイ・コンピュータグラフィックスなどにおいて3次元映像情報を扱う数学的モデルとして用いられる．ライトフィールドカメラで画像を撮影するとさまざまな方向に進む光線を取得できるので，画像撮影した後で焦点を合わせる位置を調節することができる．ライトフィールドディスプレイは，3次元空間内をあらゆる方向に進む光線を再生し，あたかもそこに実物があるかのように感じられる立体表示を行える．