

## 特集 ■ 表現の幅を広げる立体視

### ゲストエディタ巻頭言



小池崇文  
TAKAFUMI KOIKE

日立製作所

## 立体視の過去・現在・未来

### 1. はじめに

最初の立体視技術が発明されてから、すでに 170 年以上がたつ。立体視はとても古い技術であり、万博などの展示会での立体映像だけでなく、雑誌の付録やシール、ポスターなども含め、読者の方々も、物心ついた時から何らかの形で立体視技術に触れてきたと思う。30 年周期と言われているように、紆余曲折あったが、最近になり映画やテレビ、ゲーム機を中心に多種多様なコンテンツを楽しめるようになってきた。

では、立体視は、すでに過去の技術であるのだろうか？ いや、もちろん、そうではないと断言したい。立体視はようやく、1 世紀以上も前に発明された技術の普及が始まった段階で、まだまだ未熟な技術であり、今後多に発展の可能性がある技術、つまり古くて新しい技術である。本巻頭言では、立体視の本質について述べた後、立体視の歴史を振り返り、現状と、表現の可能性について述べる。

### 2. 立体視の本質

立体視とは、人間が立体知覚するための視覚的方法であるが、一方で、現実世界の正確な光学的入出力も、技術の観点からの立体視と言えよう。

筆者の、まだまだ短い（と本人は思っている）立体映像研究の中で、立体視実現のための本質は次の三つの要素、1) 膨大な情報（ソフトウェア）、2) 光の指向性を正確にコントロールするデバイス（ハードウェア）、3) 人による知覚（ヒューマン）、が複雑に絡みあって構成されていると強く感じている。

まず、一番目の情報量の観点からは、当たり前であるが情報量が 2D のディスプレイ・映像に比べて多いことが挙げられる。メガネ方式を始めとするステレオ 3D と

言われているものは、左右の目に異なる映像、つまり両眼視差を提示する方式であるが、この立体ディスプレイの中でも最も情報量が少ない方式であっても、2D の 2 倍の情報を扱う必要がある。多眼方式やインテグラルイメージングなどでは、数倍から数百、場合によっては数千倍の情報が必要となる。この今までよりケタ違いに多い情報をどう取り扱っていくかが本質の一つ目であり、実用化に時間のかかった理由の一つでもある。

続いて、二番目の本質は、光の指向性を正確にコントロールし実現する光学デバイスである。立体映像を実現するには、両眼視差であれ運動視差であれ、異なる方向に異なる光を再現することが必要である。今までは、バリアやレンチキュラなどの静的な光学デバイスが主であったが、解像度や明るさの低下などを引き起こし、どうしても画質面で課題があった。最近になって、液晶でバリアやレンズを実現する技術が実用的になり、裸眼立体映像の実用化に大きく貢献した。また、光学デバイスは、バーチャル（デジタルデータ）からリアル（現実世界）へ変換するインタフェースとしても重要な役割を占めている。なお、光はカメラのように、取得したデータを頑張って処理することはできず、ディスプレイから出射したあとは制御が出来ないことが難しい点である。光学デバイスの分野では、負の屈折率を持つ物質など、メタマテリアルを中心に様々な新しい光学材料が発見・発明されている。立体映像の研究者にとっては、非常に期待が大きい。

三番目の本質は、人による知覚の要素である。立体視においては、知覚の中でも視覚を指すが、本原稿執筆時にも、新しい錯視現象が発見されたというニュースが流れており、人の視覚については、まだまだわからないことも多い。どのような形であれ、人が立体知

覚すれば良いとのスタンスに立てば、立体視を実現する技術は、もっと自由度が広がるであろう。実際に、DFD (Depth Fused 3D) 方式は、二枚の液晶パネルやスクリーンを少し離して設置し、前面と後面に出す映像の輝度を調整することで、そのパネル間の任意の場所に定位する立体映像が提示可能な方式であるが、これは、錯視の一種とも言えるであろう。

### 3. 立体視の過去 ～情報技術との融合～

ここで、簡単に立体視技術の歴史を振り返っておきたい。映画やコンテンツの歴史などは既に様々に語られているし、本特集でも森山氏に詳しく解説頂いているので、研究者らしく、技術の観点から述べることにする。

まず、1838年に Wheatstone により、最初の立体視技術であるステレオスコープが提案された。左右に対応する2枚の異なる絵を鏡で折り返すことで、左右の目で異なる絵を見る方式で、いわば、HMD やメガネを用いるタイプの立体視技術の元祖と言える。ステレオスコープは、仕組み上クロストークが0であるため、現在でも立体視の実験に多く用いられている。なお、Wheatstone は、電気回路の教科書の始めに必ず登場するあの Wheatstone である。

その後、しばらく空いて1903年に Ives により裸眼方式の元祖であり、いわゆる二眼バリア方式と呼ばれている Parallax Stereogram が発明されている。続いて、1908年に Lippmann により Integral Photography が提案された。Integral Photography はハエの眼レンズ（レンズアレイ）を用いて写真を撮影する立体写真技術として提案されている。撮影後に、フィルムを現像し、写真と同じレンズアレイを通して閲覧すると、ちょうど1レンズが1視点に対応する多視点映像が観察できる仕組みである。この原理を応用した立体ディスプレイはインテグラルイメージングと呼ばれているが、近年では光線再生方式と呼ばれることも多い。1918年には Kanolt によって、Ives の Parallax Stereogram を拡張する形で、いわゆる多眼方式である Parallax Panoramagram が提案されている。少し離れて1948年に Gabor によってホログラフィが着想されている。なお、Lippmann は、カラー写真の改良でノーベル賞を1908年に受賞している。ホログラフィの中に、Lippmann Hologram という方式が存在しているが、後に、彼が過去に提案した写真方式がホログラフィの一方式と原理がほぼ同じであることがわかり、この名前がついたそうである。1970年代にはボリュウム方式の原型がいくつか提案されてお

り、この頃に、現在使われている立体視ディスプレイの原理がほぼ出揃ったことになる。

立体視ディスプレイの基本原則としては、デバイスの違いはあれ、ここで紹介した各種方式からは大きくは進化していない。現在まで普及してこなかった原因は、コンテンツも含めた周辺技術の未熟さのためであると考えられている。特に近年デジタル技術で扱えるようになったことも大きい。

皆さんがご存知のように、一般への普及は順風満帆ではなかったが、過去にも、立体視は表現技術としては多く用いられてきている。例えば、まだまだ実用化に程遠いと思われているホログラフィであるがデジタル（電子）ホログラフィの実用化が困難なだけであり、フィルムベースのホログラフィは完成度が高く、表現技術として早くから利用されている。実際に、1970～80年代に各地で展覧会が開かれるなどしている。筆者も、小中学生の頃に美術館の企画展示でホログラフィを見た記憶が朧気ながら残っている。

人の立体視機能に関する研究は、1600年前後に Kepler が始めたとされており、歴史が古い。一方で、情報理論的な研究は歴史がそれほど古くなく、1991年に“Checker Shadow Illusion”などの錯視の研究で著名な Adelson と Bergen により、Plenoptic Function が提案され、ようやく始まったと言える。Plenoptic Function は目に映る光を記述するための関数として導入され、光の出射位置を表す3次元とその方向を表す2次元とを合わせた5次元の関数である。この5次元に、色に対応する波長の1次元と、時間の1次元をあわせて7次元で Plenoptic Function と考える場合もある。Plenoptic は、ラテン語で“全ての (full)”を意味する Plenus と Optic の造語であり、“全ての光”を意味する。一方で、Hologram は、ギリシャ語で“完全な (whole, entire, complete)”を意味する holo と“記録”を意味する gram の造語である。両者が同じような意味を持つことはとても興味深い。1996年には、5次元から、位置を表す3次元のうち、奥行きに対応する1次元を減らした、4次元空間で記述する、4D Light Field が Levoy と Hanrahan によって提案されている。4D Light Field は、元々は Image-Based Rendering の流れでの自由視点映像のための方法であり、カメラを平面上に多数並べて撮影する場合に対応するが、2000年に Chai らにより Plenoptic Sampling が提案され、多眼カメラのピッチと奥行き解像度の関係などが示されて、さらに、同年に Isaksen らにより 4D Light Field と Integral Photography

との関連性が示されてから、これらの技術の立体視分野での重要性が急速に高まっている。最近では、ホログラフィの特徴である光の位相も扱えるように 4D Light Field を拡張する議論もされており、Plenoptic Display とも言うべき究極のディスプレイのための理論的下地ができつつある。

また、Integral Photography や 4D Light Filed は、撮影技術の新しい流れである Computational Photography にも様々な応用されている。カメラとディスプレイは双対な関係であり、この関係を利用した研究も多数行われている。一つのデバイスで立体映像の入出力が可能になる日もそう遠くないと思われる。

#### 4. 立体視の現在 ～普及期の始まり～

長年、アナグリフや偏光メガネを中心とし、立体映像は特殊なものとしての域を出なかったものが、ようやく、昨年の 3D<sup>1</sup> 映画でのヒット作の登場やテレビの発売、ゲーム機の対応が始まることによって、メガネ方式は普及期に入ったように思われる。メガネ方式は、解像度の劣化なくフル HD で 3D に対応したことの意義は大きい。3D 対応プロジェクタも容易に手に入るようになってきたため、表現技術としては、誰でも利用可能な状態になったと言える。一方で、3D テレビの販売が思ったように伸びない、やはりコンテンツが不足であるなど、様々な不安要因や不満がクローズアップされることも多い。実際に、筆者も、発売前から、「3D はテレビの付加機能の一つでしかない」との声を技術者含めて多方面から聞いており、関連研究者としては大きな期待をする一方で、過度な期待をするべきでないと感じている。しかしながら、映像機器の各種規格で 3D 対応が完了しており、徐々に定着することは間違いないと思われる。

裸眼方式は、携帯機器を中心にラインナップが増え、ようやく受け入れられ始めている状況である。このことは、ディスプレイパネル自体の解像度の向上と、3D 専用パネルが作られるようになったことが大きい。今までは、主にバリアが使われてきたため明るさなどが課題であったが、最近では、明るさに優れる液晶レンズの開発もだいぶ進んでおり、今年末から来年にかけて液晶レンズを搭載した 3D 液晶が多く登場すると思われる。しかしながら、裸眼方式は、技術的困難度がディスプレイサイズに大きく依存するため、大型の裸眼立

体映像が普及するにはまだまだ時間がかかる状態である。デジタルホログラフィも精力的な研究が行われているが、残念ながら、ホログラフィに関しては、アナログからデジタルへの橋渡しがちゃんと出来ておらず、今後の研究に多いに期待したい。

立体映像と AR 技術との融合も様々な試みられている。残念ながら、現在の二眼方式などは視域の狭さから視点やデバイスが自由に移動する AR 技術との相性は良くない。それぞれ最適な方式の検討や実装含めて、VR 学会に寄せられる期待は大きいと思われる。

#### 5. 立体視の未来 ～道具から表現へ～

従来、立体視技術は、あくまで映像を飛び出させる、奥行きを持たせる、といった道具の一種であった。対応機器で専用メガネをかければ立体に見えますという具合である。また、立体映像を導入する目的の多くは、驚きや新鮮さであった。しかしながら、立体視の本質が分かってくることで、表現技術として成熟してきているし、さらに新しい表現についても既に技術の芽は出ている。

例えば、ステレオ方式であれば、原則として視点が固定で、ある顔の位置からの立体映像しか提示できない。一方で 4D Light Field Display を考えると、観る角度によって違う立体映像を呈示できるので、不可能物体のような、今までのディスプレイでは不可能であった映像を表現することが可能となる。筆者も、たまに座標系を間違えて逆方向の視差を持つ立体映像を表示してしまうことがあるが、これも現実に存在しえない映像である。また、構造色を持つ蝶の羽根の質感といった、本当の意味での質感の再現や、視点が自由に移動するような状況でのインタラクション技術との自然な融合も可能となる。ただし、質感に関しては、現状の最新立体ディスプレイであっても、4D Light Field までの再現であって、5D Plenoptic Function の再現が完全には出来ていない。例えば、人体の皮膚で起こるような表面下散乱も厳密には 5 次元を必要とするため、現状の技術では再現が難しく課題もある。

リアリティが増すに連れて、サイズや現実との小さな差分の問題も課題となるかもしれない。ロボットや CG における不気味の谷現象と同様に、立体映像の不気味の谷が現れるかもしれない。元々は、ロボット工学者の森政弘先生が提唱した概念であり、ロボットの外見や動作が人間に近づくとつれて、ある時点で非常に不気味に感じられる現象である。映像でも、映画などにおける CG で描かれた人間にも同様な現象が起きたと言われている

1. ここでは現在の慣例にならって「3D」表記とするが、本巻頭言では「立体」と同じ意味である。



る。立体の場合は、例えば、あなたの良く知っている身長 160cm の人物が 155cm で非常にリアルな立体映像として目の前に現れたとしよう。この時、我々はどのように感じるのでしょうか？映画館で感じられたリアリティが、同じコンテンツを家庭用 3D テレビでは感じられないといった意見も聞き、非常に興味深い話題になるかもしれない。

このように技術制約や課題はあるが、立体映像は従来の飛び出し映像を飛び出し新しい表現の可能性を見せはじめています。こうした技術を元に様々な作品が生まれることを楽しみにしています。

## 6. 特集内容について

まず、斎藤先生により、日本発で、非常にオリジナリティの高い立体ディスプレイ技術である「レーザ励起プラズマによる空間立体描画」について解説いただく。非常に特殊なハードと、それを使いこなすためのソフトウェア技術、アプリケーション例まで豊富な内容が述べられている。佐藤氏と高澤氏の「「花粉」の 3D データ化及び 3D 造形への試み」は野心的な試みである。人の目では簡単に見えない花粉の 3 次元構造を、様々な試行錯誤の上取得できたことは素晴らしい成果であり、3D コンテンツの可能性が大きく広がることと思う。森山氏からは、「3D / 立体視による作品表現の歴史と拡がり」と題して、1990 年代からの様々な試みについて網羅的に解説いただく。本巻頭言でも述べているように、立体視は早くから表現手法として用いられてきた。その歴史についてよく理解できると思う。森野氏には、「3D 作品『ドーン』にみる 3D 表現と技術」と題して、実際の 3D 映像の制作について解説いただく。制作プロセスや具体テクニックまで述べられており、今後の 3D 映像制作に大いに役立つ内容である。西氏の「日本発の 3D 立体視コンテンツを世界に」では、静止画の様々な 3D コンテンツについて紹介頂く。高精細な静止画 3D は、動画やインタラクティブコンテンツとは

違った良さがあり、是非、読者の方々にも機会を作って実際に見ていただきたいと思う。

## 7. おわりに

立体ディスプレイとしては、今後、多眼方式、インテグラルイメージングや超多眼、ホログラフィへとマイルストーンがだいぶ見えてきた。実用化がすすみ、リアリティがますます上がっていくことは間違いないであろう。

一方で、他の感覚とどのように融合していくかは大きな課題である。様々な試みが行われているが、触覚の導入が難しいことは読者もよくご存知であると思われる。テーマパークなどで飛び出す立体映像に子供たちが手を伸ばして触ろうとするのを見かけるたびに、VR 学会の一会員として、何とか解決せねばとの気持ちになる。

他にも、書割効果、箱庭効果など、以前からよく知られている立体知覚に関する現象について、十分な説明がされてない状況である。こちらも精力的に研究は行われているが、人の視覚について、より多くの理解が必要であろう。

今後は、超臨場感に対する取り組みが興味深い。高解像度化などの高臨場感の方向性は、数値性能を高め、より忠実に光を再現するといった観点から、今後も重要であるのは間違いないが、それを超えた超臨場感についても、研究の発展を期待したい。例えば、ある映像を誇張して飛び出させたり、脳内で美化されている過去の記憶の可視化など、取り組むべき課題は多い。

以上、本巻頭言では、立体視の過去を振り返りつつ、未来への思いを馳せさせていただいた。本特集が古くて新しい技術である立体視分野へ興味を持つきっかけになれば幸いである。

### 【略歴】

小池崇文 (KOIKE Takafumi)

日立製作所 横浜研究所 主任研究員

1995 年東京工業大学理学部卒業、1997 年東京大学大学院工学系研究科修士課程終了。1997 年日立製作所入社。2009 年東京大学大学院情報理工学系研究科社会人博士課程終了。博士 (情報理工学)。2009 年より現職。専門は立体映像技術全般とその応用。