

3D・立体映像技術の課題と展望

早稲田大学 理工学術院

教授 河合 隆史



1 はじめに

2010年は「3D元年」と呼称され、いたるところで「3D」というキーワードが散見された。3Dによる新たな産業・文化の創出効果が期待される一方で、ユーザーにとっての3Dの技術的な特徴や、3Dによるメリットは、いまだ不明確な点が多い。本稿では、こうした現状における筆者らの見解や取り組みを紹介しながら、当該分野の課題と展望について述べてみたい。

2 「3D」という言葉の広がりと言源

「3D」という言葉は、コンピュータグラフィクスやホログラフィの分野でも、異なる意味で用いられることから、しばしば混乱を生じる。本来、空間情報すべての記録・呈示を目指す場合に「3D」が使用される場合が多く、両眼視差を利用した2眼式の呈示方式には「立体」が用いられてきた。そのため、当該分野の文献などにおいては、「3D」を、「立体」と区別して扱う場合がある。本稿では、3D映画や3Dテレビといった言葉の広がりを考慮し、画面の前後に対象が再生される、2眼式の呈示方式という意味で、「3D」を使用している。

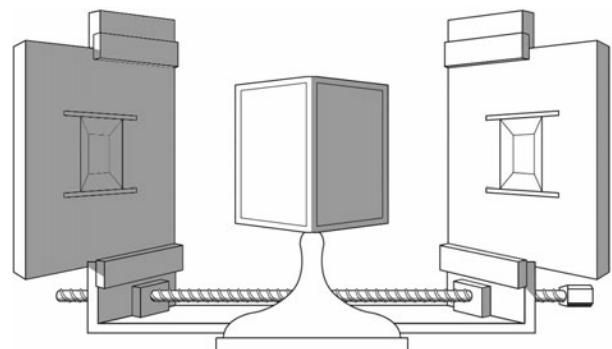
ここで「3D」は、正式には2眼式立体映像、「stereoscopic images」と呼ばれている。「stereoscopic」という言葉は、両眼視を研究したWheatstoneによる造語である¹⁾。ギリシア語で「solid(固体・立体)」を意味する「stereo」と、「見る装置」という意味の接尾語「scope」が、その語源となっている。なお、両眼視は、同時視、融像、立体視という3つの機能に分類される。同時視とは、対象を両眼で同時に見る機能であり、融像は、両眼の網膜像を、感覚的に1つの対象として認知する機能である。立体視とは、両眼の網膜像の差から、奥行き感を得る機能である。両眼視の機能は、生後3箇月から6箇月の間に急速に発達し、6歳くらいでほぼ完成するとされている。

3 ユーザーからみた3Dの呈示方式

3Dの歴史的な特徴として、周期的にブームが訪れることが指摘されている。遠くの様子を見たり、見えているように表現したいという映像メディアへの欲求は、ヒトにとって本来的なものであり、ブームが繰り返生じることは、3Dが、人類の夢の1つであることを示唆している。同時に、これまでのブームはいずれも一過性であり、3Dの普及・定着が困難であったことが伺える。換言すれば、3Dは、非常に長い歴史のある、次世代の映像メディアといえるかもしれない。

現在、映画やテレビで用いられている3Dの呈示方式は、多様な呼称がなされており、ユーザーに対し、あたかも新たな発見や発明がなされたという印象を与えている可能性がある。3Dの原理そのものは、19世紀前半にさかのぼることができ、上述のWheatstoneによる両眼視の研究に用いられたステレオスコープが、世界初の3Dの呈示装置とされている。

3Dの基本原理は、両眼視差の含まれたコンテンツを、左右眼に分割して呈示するという点で、Wheatstoneのステレオスコープ以降、共通している。3Dに複数の呈示方式が混在しているのは、方式間でトレードオフが存在するためである。上述のWheatstoneによる両眼視の研究に用いられたステレオスコープが、世界初の3Dの呈示装置とされている(第1図)。



第1図 Wheatstoneのステレオスコープの構成

多様な3Dの呈示方式は、観察に必要となるユーザーの行為からみると、大別が容易になる。具体的に、のぞき込む、あるいは頭部に装着するスコープ式、メガネをかけるメガネ式、何もつけない裸眼式の3種類である。筆者らによる呈示方式の分類²⁾を、第1表に示した。3Dテレビの市販や3Dに対応した映画館の増加により、メガネ式の技術が一定の水準に達したと考えると、普及・定着への課題は、コンテンツの不足や生体影響への懸念など、ハードからソフト、そしてユーザー側へとシフトしている。

第1表 3Dの呈示方式の分類

大分類	ユーザーの行為	小分類
スコープ式	のぞき込む， 頭部に装着する	ステレオスコープ ヘッドマウントディスプレイ
メガネ式	メガネをかける	アナグリフ 偏光フィルタ 液晶シャッター
裸眼式	何もつけない	パララックスバリア レンチキュラ

4 3Dによるユーザー体験の形成

3Dを有効に活用するためには、消極的な側面だけでなく、積極的な側面についても、理解・検討することが必要である。「テレビが3Dになると、どんなメリットがあるのか？」という問いに対して、「飛び出す」あるいは「引っこむ」というのは、答えとして十分ではない。ユーザーが、3Dの、どの要素に魅力を感じるのか、3Dのユーザー体験に關与する要因は、光学的なものから視環境に至るまで多岐にわたって存在する。そのため、それらの要因群が、いかにしてユーザーの最終的な体験に影響するか、見いだしていくことが重要である。

3Dによるユーザー体験は、大きく、表現技術にかかわる要因、認知・情緒的要因、両眼視の生理・知覚的な制約、そしてコンテキストや文化的な背景などの要因によって形成されると考えられる。

4.1 ユーザー体験と表現技術

表現技術にかかわる要因として主要なものは、両眼視とコンテンツ、呈示方式との関係性である。コンテンツとの関係性は、例えば、3D映画において、質の高い物語性への関心を欠いた結果、単なる立体感の誇示に終始しがちであることが、繰り返し指摘されている^{3), 4)}。呈示方式との関係性として、クロストーク⁵⁾やMach-Dvorak現象⁶⁾、ファントムアレイ⁷⁾といった、3Dにおいて特徴的に知覚される多様なアーチファクトがあげられる。

クロストークとは、左右の映像の分離が不完全な状態

である。Mach-Dvorak現象とは、画面上を水平に移動する視標(2D)を、液晶シャッターメガネを用いて観察することで、視差情報が含まれていないにもかかわらず、画面の前後に知覚されることをいう。ファントムアレイとは、暗中で眼球の跳躍運動中に強い光を呈示し続けると、点列が知覚されるという現象であり、液晶シャッターメガネを用いて、コントラストの強いコンテンツを観察した際に、跳躍運動に伴って知覚されることがある。こうしたアーチファクトが生じる場合、ユーザーにとって、正常な奥行き感が得られない可能性がある。

ほかに、画面サイズや視距離といった視環境⁸⁾に加え、圧縮⁹⁾などの画像処理による影響が、表現技術にかかわる要因に含まれる。

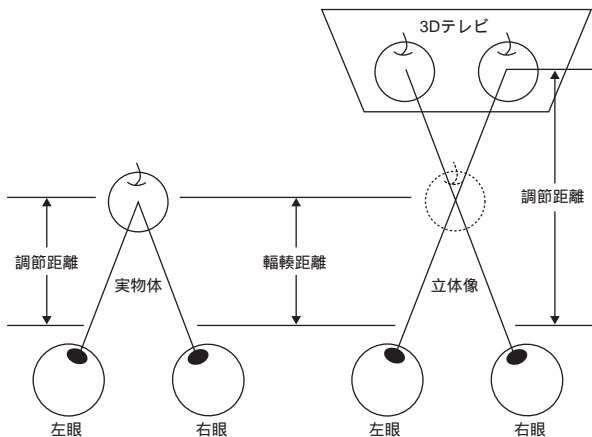
4.2 ユーザー体験と認知・情緒

ユーザーの認知・情緒状態は、最も重要な要因の1つである。認知・情緒には、3Dを見ようとするモチベーションや、3Dの先行的な視聴経験などが含まれる。より多くの視聴経験は、「飛び出している」「引っ込んでいる」という、一時的な興奮が過ぎ去り、ユーザーがコンテンツの細部に注意を向けるとき、上述の表現技術を要因とした消極的な体験を、おそらくは、増進させる。換言すれば、3Dに対して、ユーザーの「目が肥える」ことを意味する。このような、視聴経験による認知・情緒的状态の変化は、今後、3Dテレビの普及に伴い、大多数のユーザーにより体験されるだろう。

4.3 ユーザー体験と生理的な制約

生理的な制約とは、ぼけや複視を生じない、限られた視差角あるいは奥行き変化のみを許容する、調節と輻湊(ふくそう)によって規定される。3Dの観察中は、輻湊は再生される立体像の位置に働くのに対し、調節は画面近傍に固定されるという、調節と輻湊の奥行き情報の不整合が生じている。知覚的な制約は、調節と輻湊の不整合の許容範囲と同じく、ホロプタ¹⁰⁾やPanumの融像領域¹¹⁾、Percivalの快適視域¹²⁾などの、対象が1つに見える、あるいは快適に観察可能な奥行き範囲に関連している。これらの制約を逸脱した場合、両眼視が困難となり、眼精疲労を生じることが確認されている¹³⁾。

3Dの生体影響として、両眼視の生理的・知覚的な制約については、多くの分野で注目されているが、より高次の認知・情緒的な要素を考慮に入れなければ、十分に解釈・適用することはできないと考えられる。3Dの観察中は、輻湊は再生される立体像の位置に働くのに対し、調節は画面近傍に固定されるという、調節と輻湊の奥行き情報の不整合が生じている(第2図)。



第2図 3Dを観察中の調節と輻輳の不整合

4.4 ユーザー体験とコンテキスト

認知・情緒的および生理・知覚的レベルの処理においては、多次元かつアーティスティックな相互作用を生じ得る。例えば、ユーザーが大切な孫の3Dビデオを見ると、表現技術に起因する多少のアーチファクトなどは、気にならないかもしれない。同様に、若年層のユーザーが夢中になってコンサートを3Dで視聴している最中は、過度の視差角による眼精疲労も忘れてしまうかもしれない。こうした複雑なコンテキストや背景を考慮しない評価では、実用的な結果を得ることが困難である。3Dの付加価値の定義を試みようとする研究事例も存在するが、仮想空間を臨場感や没入感という尺度で評価しようというアプローチが多い^{14), 15)}。

5 3Dによるユーザー体験解明への取り組み

筆者らの、近年の主な取り組みの1つとして、一対比較法とインタビューを組み合わせた手法による、ボキャブラリの収集・分析があげられる¹⁶⁾。この手法を、筆者らはIBQ (Interpretation Based Quality) と呼称している。IBQでは、あらかじめ実験者側が奥行き感や臨場感といった評価尺度を規定せず、ユーザーの嗜好(しこう)に基づく発言から引き出し、質的な解釈を加えていくことに特徴がある。3Dの付加価値を理解するうえで、「飛び出す」「引っこむ」に代わる、3Dのユーザー体験を形容する「言葉」の獲得は、重要課題の1つである。また、2Dと比較した際の、ユーザー体験の差異について、視聴中の眼球運動から検討を行っている¹⁷⁾。第3図に、筆者らによるヘルシンキ大学 行動科学部での実験風景を示した。

第4図は、実験で用いた3D短編映画の1シーンであり、第5図は2Dで視聴した際の注視点の分布をマッピングしたものである。第5図から、2Dでは、人物、特に顔に視線が

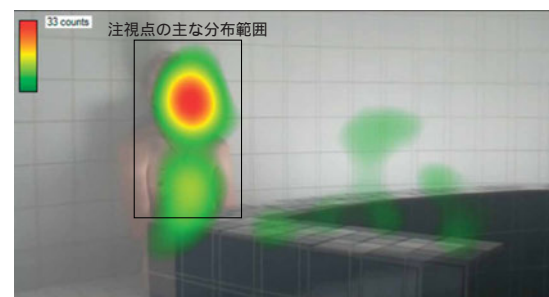
集中していることがわかる。一方、同一コンテンツを3Dで視聴した結果の第6図からは、人物の顔を注視している点は共通しているが、手前の構造物にも視線が集まっていることがわかる。こうした傾向は、視覚情報の空間的な構成との関連が予想されるため、コンテンツに含まれる両眼視差についても画像処理を用いて抽出・分析を行っている。筆者らは、こうした知見の取得・蓄積によって、3Dの映像メディアとしての特性理解と、積極的なユーザー体験の形成へ向けたフィードバックに取り組んでいる。



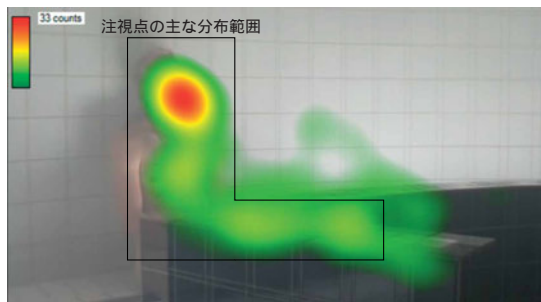
第3図 3D短編映画視聴中の眼球運動の測定風景



第4図 提示した3D短編映画の1シーン C Stereoscope



第5図 2D条件での視聴時の注視点の分布例



第6図 3D条件での視聴時の注視点の分布例

6 おわりに

本稿では、3D技術の課題が、ユーザーを中心にシフトしていることを指摘し、3Dのユーザー体験に関する筆者らの見解と取り組みについて述べた。上述のように、3Dのユーザー体験については未知の点も多いが、呈示方式の基本原則や予見し得る影響については、クリエイターからユーザーに至る範囲で、かわり方に応じた一定の知識、あるいはリテラシーが求められる時期の到来を実感している。3Dという映像メディアを、どのように活用し、どのような未来を築いていくのか、メーカーだけでなく、クリエイターやユーザーも交えて展望していくことが急務となっている。

参考文献

- 1) 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, Part II, pp.371-394 (1838).
- 2) 河合隆史 他 : 3D・立体映像表現の基礎 (オーム社) (2010).
- 3) R. C. Hawkins : An initial investigation of the problems of editing the dramatic stereoscopic film. University of California (1952).
- 4) R. M. Hayes : 3-D movies. A history and filmography of stereoscopic cinema. McFarland & Company (1989).
- 5) L. Meesters , et al. : A survey of perceptual evaluations and requirements of three-dimensional TV. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology 14, pp.381-391 (2004).
- 6) C. F. Michaels, et al. : An onset to onset rule for binocular integration in the Mach-Dvorak illusion. Vision Research 17, pp.1107-1113 (1977).
- 7) W. A. Hershberger, et al. : Phantom array - A perisaccadic illusion of visual direction. Psychological Record 48, No.1, pp.21-33 (1998).
- 8) P. Seuntjens, et al. : Perceived quality of compressed stereoscopic images - Effects of symmetric and asymmetric JPEG coding and camera separation. ACM Transactions on Applied Perception 3, pp.95-109 (2007).

- 9) S. Kishi, et al. : Scalable 3D image conversion and ergonomic evaluation. SPIE 6808, pp.68030F-1-9 (2008) .
- 10) K. N. Ogle : An analytical treatment of the longitudinal horopter, its measurement and application to related phenomena, especially to the relative size and shape of the ocular images. Journal of the Optical Society of America 22, pp.665-728 (1932).
- 11) P. L. Panum : Physiologische untersuchungen über das sehen mit zwei augen. Schwerssche Buchhandlung (1858).
- 12) 矢野澄男 他 : 両眼融合立体画像での二つの視覚疲労要因 映像情報メディア学会誌 57, No.9, pp.1187-1193 (2003).
- 13) D. A. Hoffman : Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. Journal of Vision 8, No.3, pp.1-30 (2008).
- 14) M. Lombard, et al. ; At the heart of it all - The concept of presence. Journal of Computer Mediated Communication 3 (1997).
- 15) B. G. Witmer, et al. : Measuring presence in virtual environments - A presence questionnaire. Presence: Teleoperators & Virtual Environments 7, pp.225-240 (1998).
- 16) J. Häkinen , et al. : Measuring stereoscopic image quality experience with interpretation based quality methodology. SPIE 6808, pp.68081B-1-12 (2008).
- 17) J. Häkinen , et al. : What do people look at when they watch stereoscopic movies? SPIE 7524, pp.75240E-1-10 (2010).

《プロフィール》

河合 隆史 (かわいたかし)

1993 早稲田大学 人間科学部 卒業
 1995 早稲田大学大学院 人間科学研究科 修士課程修了
 1998 同研究科 博士後期課程修了 博士 (人間科学)
 1998 早稲田大学 人間科学部 助手
 2000 早稲田大学 国際情報通信研究センター 専任講師
 2002 早稲田大学 大学院国際情報通信研究科 助教授
 2007 早稲田大学 大学院国際情報通信研究科 准教授
 2008-現在 早稲田大学 大学院国際情報通信研究科 教授
 2008 ヘルシンキ大学 行動科学部 訪問教授

専門技術分野：

次世代メディアと人間工学

主な著書：

3D・立体映像表現の基礎 (オーム社) (2010)
 次世代メディアクリエイター入門1 立体映像表現
 (カットシステム) (2003)

主な編書：

医学3Dコンテンツの最先端 3次元情報の可視化と応用
 (カットシステム) (2007)
 先端メディアと人間の科学 (トランスアート) (2006)