第52回 日本視能矯正学会

シンポジウム「3D映像が視機能及び心身に与える影響と安全性対策」

3D映像の現状と視機能検査・訓練応用

半田 知也

北里大学 医療衛生学部 リハビリテーション学科 視覚機能療法学

The present condition of three-dimensional films and
utilization of three-dimensional technology in visual function tests
and orthoptics procedures

Tomoya Handa

Department of Rehabilitation, Orthoptics and visual Science Course,
School of Allied Health Sciences, Kitasato University

要 約

アナログ映像からデジタル映像への技術進展、3次元（3D）映画の公開などを背景に、家庭用3Dテレビ、ゲームの発売、複数の放送局が3D番組放送を開始するなど、3D映像は映像文化として定着の兆しを見せ始めている。現在主流である二眼式3D映像は、2台のカメラで簡単に立体空間を再現できる反面、不適切な空間映像を作りやすく、生体安全性について懸念されている。近年の3D映像は、3D映像制作ガイドラインの準拠、映像編集における技術革新、小児に対する視聴制限などにより生体安全性を最大限考慮されて製作されている。しかしながら、3D映像の生体安全性の担保には視聴者の3D映像への理解及び3D映像の適切な視聴法が重要となる。両眼視機能の専門家である視能訓練士は、3D映像を含む映像技術に対する理解を深め、その効果と注意点を客観的に評価し、社会に啓発する必要がある。現在、3D映像は映像メディアとしてだけではなく、教育・医療応用が注目されている。特に3D映像技術そのものを応用できる眼科検査応用への展望が開けてきた。

本稿では3D映像の現状について概説し、視能訓練士の立場から3D映像の視機能への影響及び、3D映像技術の視機能検査・訓練応用について述べる。

J-STAGE 早期公開日：2012年11月30日

別冊請求先（〒252-0373）神奈川県相模原市南区北里1-15-1

北里大学 医療衛生学部 リハビリテーション学科 視覚機能療法学

Tel. 042 (778) 9671 Fax. 042 (778) 9684

E-mail: thanda@kitasato-u.ac.jp

Key words：3D映像、両眼視、視機能検査、視能訓練

3D film, binocular vision, visual function test, orthoptics

Abstract

Three-dimensional (3D) films are becoming an established part of our visual culture, as shown by advances in the technology from analog to digital imaging. Currently, more 3D movies are being released, there has been a surge in the development of 3D home televisions and games, and multiple television stations are now beginning to broadcast in 3D. Binocular 3D imaging, which is currently considered to be mainstream technology, enables the simple reproduction of 3D spaces using two cameras. However, the technology tends to create unsuitable spatial images, and this has led to concerns in terms of biological safety. These concerns have in turn led to changes in how 3D films are being developed. Guidelines have been proposed regarding the biological safety of 3D film production, there have been technological innovations in how 3D films are edited, and various measures have been suggested for restricting viewing by children. However, biological safety guidelines for 3D films cannot be created without an understanding by the viewers of the 3D film technology and what constitutes a safe viewing environment. Due to this increasing use of 3D technology, orthoptists, who are specialists in binocular function, need to deepen their understanding of this new imaging methodology, objectively evaluate both its beneficial and adverse effects, and disseminate this information on a level that all members of society can understand. At present, 3D films have garnered attention not only as film media, but also for their use in educational and medical applications. Development of 3D film technology applications for use in ophthalmological examinations is also currently ongoing.

The present study examines the status of 3D film technology, in addition to describing the effects of 3D films on the visual function from the perspective of orthoptists. We also summarize the current utilization of 3D film technology applications for visual function tests and orthoptics procedures.

はじめに

我々人間の視覚特性及び心理的效果を満足させる映像技術の開発には際限がない。映像技術の進歩にともない、高解像度映像や臨場感溢れる大画面映像を要望し、我々の生活に深く浸透してきた。近年目覚ましい発展を遂げたデジタル映像技術により、これまでの2D映像に3次元(3D)空間を付加する3D映像技術が静かに定着の兆しを見せ始めている。3D映像はこれまで幾度もなくブームを繰り返してきたが、これまでは一過性のブームに過ぎなかった。なぜなら、これまでの3D映像は飛び出しを強調するあまり不自然な映像が多く、視覚負荷から生じる疲労感から映画など長時間視聴できるものではなかった。

近年、3D映像提示技術の高性能化により、より自然な臨場感を求めた映像空間を求めて3D映画が盛んに製作され、各メーカーから家庭用3Dテレビや3Dゲームが発売、BS各局からTV放送を開始するなど、これまでのブーム

とは異なり映像産業としての様相をみせている。これから注意を払うべきは生体影響への問題である。現在、3D映像の業界団体や関係省庁などでISO(国際標準化機構)、ITU(国際電気通信連合)での国際標準化を念頭に各種ガイドラインが検討されている。しかしながら、3D映像の快適視聴のためには映像制作者だけでなく、一般視聴者も3D映像の視聴法に対して理解する必要がある。

本稿では3D映像の現状を実際の3D映像作品を用いて概説し、さらに視能訓練士の立場から3D映像技術の視機能検査・訓練応用について述べる。

I. 3D映像の原理的問題

3D映像は仮想現実空間であり、我々が日常に感じる現実空間とは異なる点も多い。代表的な3D映像の原理的問題として、左右眼の映像差(サイズ、輝度、歪み、位置ズレ、色ずれ、時間ズレ)、及び両眼視差量に起因する調

図1：3D映像の両眼視差量制御

マルチフォーマットライブスイッチャー（AV-HS450、パナソニック（株））を用いた3D映像中の両眼視差量分析の一例を示す。図中の棒グラフが両眼視差量の分布を示す。両眼視差量が画面の3%以内（視角換算 1° ）である。

節と輻湊の不整合がある。左右眼映像差は技術的な進歩により問題点は改善された。一方、調節、輻湊の不整合は二眼式立体映像の原理的問題であり、いまだ残る。調節・輻湊の不一致とは、実物注視の状態では一致するはずの調節と輻湊位置が、3D映像視聴時には調節は実視標である視標提示面、輻湊は立体再現位置に乖離してしまう二眼式立体映像の原理的問題である¹⁾。現在の3D映像は両眼視差量を調節・輻湊反応の乖離が生じ難い相対輻湊・相対調節範囲内に制限することでこの原理的問題に対処している。3D映像の業界団体である3Dコンソーシアムによる3DCガイドラインにおいて 1° 以内に設定されている。我々の自験においても3D映像（両眼融像できる注視物において）の相対輻湊・相対調節を考慮した両眼視差量の許容範囲は平均値として両眼視差 2° 未満、個人差を考慮した場合で両眼視差 1° 未満であった²⁾。これまでの両眼視差量と快適性に関する様々な知見を踏まえ、現在テレビ放送されている作品の両眼視差は映像機器により制御・設定され（図1）、近景（飛び出し） 0.5° 以下、遠景（奥行き） $0.5\sim 0.7^{\circ}$ 以下、近景と遠景の差は 1.0° 以下に設定されている。しかしながら、この設定視差量はある特定の観察距離から見た場合

であり、映像画面に近づくほど両眼視差量は増え、遠ざかるほど両眼視差量は減少する。視聴者は適切な視聴距離を保つ必要があり、画面の高さの3倍の距離（50インチTVで約2m）を目安にすると適当である。3D映像を安全に視聴するためには視聴距離以外にも3D映像視聴に対する注意点として、自覚的疲労を感じたら休憩、眼疲労素因（左右眼の視力差、大きな斜位）なし、6歳以下は視聴を控えることが必要である。

現在、3D映画や市販の3Dテレビには偏光眼鏡方式や液晶シャッター方式（眼鏡式）が多用されており、現在の両眼分離方式の中で最も日常視に近いといえる。しかしながら偏光眼鏡方式は縦方向の解像度が半減すること、液晶シャッター方式にはクロストーク（左右眼映像の他方への混入）などの影響になどにより融像幅が低下する懸念も指摘されており、完全なものではない³⁾。特に生体安全性の観点から注意すべきは、左右の色の違いにより眼疲労を引き起こしやすいアナグリフ方式及び、映像酔いを引き起こしやすいヘッドマウントディスプレイ方式である。3D映像視聴時に斜視が発症したという報告⁴⁾において、アナグリフ方式を用いた作品であったことも注目すべき点である。

3D映像に限らず新しい映像技術・機器が出現する度に生体影響が問題化し、対策としてガイドラインが制定されてきた。代表的なものとしてVDT症候群、近年ではアニメ映像の強い点滅・動き映像に起因する光過敏性発作などがある。これらの問題においても根本的に解決された訳ではなく、視聴者自身が違和感や疲労を来さないよう対処しているに過ぎない。3D映像においても安全ガイドラインの早期制定が求められると同時に、一般視聴者における3D映像への理解が必要である。また今後3D映像が一過性のブーム終わらず、次世代映像として利用されるためには社会に有益な効果の確立が必要条件であり、乗り越えるべき最大の壁である。

II. 3D視聴時の脳活動

これまで3D映像注視の生体反応計測として前述した調節・輻湊反応及び盛んに検討されてきた^{5)~7)}。近年では心拍や発汗など自律神経

活動、脳神経活動の反応計測により3D映像の生体影響及び効果の検証が行われている。現在、我々は商業レベルの3D映像を用いて、3D映像効果を脳活動計測により検討しており、その結果の一部を述べる。脳機能計測には低拘束計測が可能な近赤外光脳機能イメージング装置(FOIRE-3000/44ch、(株)島津製作所)を用いる。本装置の原理である近赤外光脳機能イメージング(fNIRS: functional Near Infrared Spectroscopy)は生体透過性の高い近赤外光を用いて脳機能を無侵襲で計測できる日本発の新たな脳機能計測法であり、自由度の高い計測法として幅広い分野で応用されている計測法である。脳機能計測の外観及び視覚刺激条件を図2aに示す。関心領域は視覚中枢の後頭葉及び頭頂連合野、注意・認知中枢である前頭葉とした。脳神経活動変化の指標として酸素化ヘモグロビン(OXY-Hb)濃度変化を用いた。3D映像視聴時を通して後頭-頭頂連合野領域に有意な賦活が認められた(図2b)。頭頂連合野のニューロン(特に背側視覚路のMT野、MST野の

図2：脳機能イメージング装置を用いた3D映像視聴時の脳活動計測

A：脳機能イメージング装置(FOIRE-3000/44ch、(株)島津製作所)を用いた脳機能計測及び視覚刺激条件の概観を示す。視覚提示装置には100インチのプラズマモニタ(パナソニック(株))を用いて3D映像を提示した。被験者は完全屈折矯正下に時分割方式の3D眼鏡を装用し、モニタから3.83mの位置から視聴する。3D映像の両眼視差は $\pm 0.7^\circ$ 以下に設定されている。映像提示条件として、基準映像(レスト)を30秒提示し、次に3映像(タスク)を30秒提示する。これを1試行として7回繰り返した(すべて異なる3D映像)。

B：3D映像視聴時の脳血流動態変化をMRI画像に重畳して示す。対象は健康青年5名であり、結果を加算平均した後のt-test値(scale ± 0.5)を示す。3D映像注視時に後頭-頭頂連合野近傍(図中の赤く表示された部分)において酸素化ヘモグロビン濃度が有意に増加したことを示す。

ニューロン)は両眼視差に反応することも知られる^{8), 9)}。ヒトを対象としたfMRIを用いた脳機能イメージング装置においても3次元情報を知覚する際には頭頂連合野が活動することが報告されている^{10)~12)}。頭頂連合野は立体視の中枢として考えられている。近赤外光脳機能イメージングを用いた方法においても立体映像注視時の頭頂連合野における脳神経活動に伴う反応を捉えられたと推察される。前頭葉は注意や認知といった精神的活動に関連する領域である。快適性を保つ3D映像視聴の際は前頭葉への血流増加¹³⁾、不快な3D映像(過大な視差量、急激な視差変化、映像揺れなど)注視時には前頭葉の血流減少する傾向認められた。前頭葉の活動状態を視聴者の主観的評価とともに検討することにより、被験者の刺激映像に対する快適性含む精神活動を間接的に評価できる可能性が示唆される。代表的な脳機能イメージング装置としてfMRI、PET、MEGなどがある。これらの装置は測定精度が高く、脳の深部計測が可能であるため視覚情報処理の基礎的研究には適して装置である。一方、fNIRSは分解能には劣り、計測可能領域は脳の表層のみであるが、被験者に対して低拘束下で侵襲なく、簡便に計測できる装置であるため、臨床的な脳機能イメージング検査としての利活用が期待される。

Ⅲ. 3D映像技術の視機能検査応用

我々はVR (Virtual reality) 技術を応用して複数の視覚機能検査を一台で実施可能な多目的視機能検査の開発に着手した。近年、多目的視機能検査器開発の第一ステップとしてドーム型立体映像提示システム¹⁴⁾を活用した両眼視機能検査装置を試作検討した¹⁵⁾。しかしながら、この試作器は大型で、映像提示にプロジェクターを使用しているため解像度も満足できるものではなく、臨床機器としての応用展開に疑問点を有した。2010年(3D元年といわれる技術革新)以降、研究室レベルであった高精細な3DTVが一般家庭に普及するようになり、PC性能も飛躍的に向上し、両眼視機能検査器の小型化及び臨床機器としての活用が可能となる時代が到来した。我々は3Dディスプレイを用いた視機能検査装置を開発した¹⁶⁾。本装置は3Dディスプレイ、映像制御・記録解析用PC、被験者用応答入力装置(ジョイスティック)、両眼分離装置(円偏光眼鏡)で基本構成される卓上型の小型装置ながら、大型弱視鏡の検査項目(同時視、融像、立体視)、9方向眼位検査(HESS赤緑試験)及び視力検査を行うことができる(図3)。検査映像は開発プログラムで制御され、検査映像は任意に作成設定でできる。被験者の応答はジョイスティックやマウスを使用した直観的操作で行われ、さらに検査結果も自動保存さ

図3: 3D映像技術を応用した視機能検査装置の概観

視機能検査項目は視力、同時視(眼位)、融像、立体視、9方向眼位検査であり、視能訓練項目は弱視訓練、抑制除去訓練、融像訓練、立体視訓練である。

れるため、小児患者においても検査時間・解析の大幅な短縮が見込める。本検査装置は従来の大型弱視鏡、HESS赤緑試験の基本的検査原理を踏襲しており、3D映像制御技術を使って時代に合わせたリノベーションを行い付加価値が与えられた装置である。本検査装置は視能訓練装置としての機能もあり、抑制除去訓練（映像の点滅、振動、拡大・縮小、回転）、融像訓練、立体視訓練（動的立体視）などを任意の時間、設定した速度で行うことができる。特に本検査装置は小児にとって馴染み深いテレビをみて応答するだけでよく、検査自体に自然に興味を持って集中して視機能検査・訓練を行うことができる利点を有する。

本両眼視機能検査を含む多目的視機能検査器の開発は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のイノベーション実用化助成事業（実施期間2009年8月～2011年2月）の助成を受けて実施した。

Ⅳ. 3D映像技術の視能訓練応用

代表的な弱視訓練として遮閉法があり、患児の状態に合わせて眼帯やアイパッチ®を用いた完全遮閉法、薬物や遮閉膜を用いた不完全遮閉

法について訓練実施時間を決めて実施されている。現在、我が国においてアイパッチ®を用いた完全遮閉がよく用いられており、臨床的にある程度完成した訓練法である。しかしながら、アイパッチ®を用いた完全遮閉治療には欠点も存在する。小児が治療計画どおりに遮閉していることを両親や学校の教師が監視する必要がある。また健眼遮閉時は単眼視となり、両眼融像や立体視といった両眼視機能の成立を妨げる可能性もある。弱視治療は弱視眼の抑制を除去し、両眼間の抑制のバランスを整えることが目的とされる。両眼視機能の発達という観点からは両眼開放下で弱視眼の抑制を除去することが理想である。3D映像技術は3Dを見せるだけでなく、左右眼に任意の映像を提示できることにある。弱視治療という観点から3D映像技術を見た場合、両眼開放下で片眼のみに映像を提示できる技術に気が付く。我々はこの技術を利用して、両眼開放下で患眼のみに映像を提示できる新しい抑制除去訓練法を発案した。本訓練法の1つである“アリつかまえゲーム”について述べる。本訓練法は両眼開放下で患眼のみにアリを提示し、マウスなどの操作デバイスによってアリを捕まえて、虫かごに入れ、その数を競うゲームである（図4）。アリ以外の周辺映

図4：3D映像技術を応用した視能訓練法

両眼開放下で弱視眼のみにアリを提示し、マウスでアリを捕まえて虫かごに捕獲することにより、両眼開放下の弱視眼作動、及び眼と手の協調運動を行う。

像(草、岩、虫かご、及びディスプレイ枠)は健眼、患眼ともに提示すること周辺融像を促し、両眼視を促しやすい設計になっている。訓練中に患者は等速度で動くアリを捕捉するために滑動性追従運動を安定して行う必要があり、アリをマウスで捕まえるためには眼と手の協調運動を行う必要がある。アリのサイズや移動速度、訓練時間は任意に設定できるため、患児の視機能状態、集中状態によって設定できる。本訓練法は現在検証中ではあるが、軽度な不同視弱視を対象とした弱視訓練効果、間欠性外斜視(25°~30°程度低下)の抑制除去訓練効果が認められ始めており、今後有効な視能訓練法になる可能性が期待される。しかしながら、訓練の効果を判定することは困難であり、本訓練の効果なのか、発育に伴う自然治癒効果なのか、実はプラシーボ効果なのか、他の訓練法との比較を含めた詳細なデータ解析が必要である。弱視・斜視訓練を含めた視能訓練は眼科医・視能訓練士の創意工夫によって発展してきた。特に遮閉法を施行している間に弱視眼を積極的に使用させることを目的とした家庭訓練は、塗り絵、写し絵、テレビ、ビデオゲームなど様々な手法がある。視能訓練装置として古くはコレクトール、ロカリザトル、ムネモスコープ、CAM vision stimulatorなどが開発され、いずれも小児の興味を引き付けることを重視されている¹⁷⁾。小児の視能訓練は疾患としての症状だけでなく、各患児の気持ちや事情を考えた方法を選択する必要がある。3D映像提示装置はTVや携帯電話などモバイル機器など我々の生活の中にゆっくりと広まっている。3D映像技術を用いた視能訓練法はこれからの弱視・斜視訓練の1つの様式として発展できる可能性がある

本視能訓練装置の開発は科研費(22791682)の助成を受けて実施した。

おわりに

3D映像は人間の視覚的現実感を疑似的に再現しようという挑戦的な取り組みである。この挑戦の応用展開として教育、医学分野への展望が拓けてきた¹⁸⁾。今後も映像技術の進歩に伴

い、次々に新しい映像表現技術が出現する。今後、視機能の専門家である視能訓練士が3D映像を含む新しい映像メディアに対する理解を深め、その効果と注意点を客観的に評価し、視機能検査・訓練に応用していくことが期待される。

文 献

- 1) 不二門 尚: 三次元画像と眼: 眼性疲労. 眼科40: 179-185, 1998.
- 2) 半田知也: 立体映像注視時の視覚反応-生体反応計測のアプローチ-. 映情学技報 34: 19-23, 2010.
- 3) Oohira A, Ochiai M: Influence on visual function by a stereoscopic TV programme with binocular liquid crystal shutter and HI-Vision TV display. *Ergonomics*. 39: 1310-1314, 1996.
- 4) 筑田昌一, 村井保一: 立体映画を見て顕性となった内斜視の一症例. 日本視能訓練士協会誌 16: 69-72, 1988.
- 5) 鶴飼一彦: ステレオ映像の及ぼす生体への影響: 調節・輻湊の刺激が矛盾すると何が起こるか. *Vision* 17: 113-122, 2005
- 6) Yano S, Emoto M, Mitsuhashi T: Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images. *Display* 25: 141-150, 2004.
- 7) Okada Y, Ukai K, Wolffsohn JS, Gilmartin B, Iijima A, Bando T: Target spatial frequency determines the response to conflicting defocus-and convergence-driven accommodative stimuli. *Vision Res* 46: 475-484, 2006.
- 8) Nguyenkim JD, DeAngelis GC: Disparity-based coding of three-dimensional surface orientation by macaque middle temporal neuron. *J Neurosci* 23: 7117-7128, 2003.
- 9) Roy JP, Komatsu H, Wurtz RH. Disparity sensitivity of neurons in monkey extrastriate area MST. *J Neurosci* 12: 2478-2492, 1992.
- 10) Naganuma T, Nose I, Inoue K, Takemoto A,

- Katsuyama N, Taira M: Information processing of geometrical features of a surface based on binocular disparity cues: an fMRI study. *Neurosci Res* 51: 147-155, 2005.
- 11) Shikata E, Hamzei F, Glauche V, Knab R, Dettmers C, Weiller C, et al: Surface orientation discrimination activates caudal and anterior intraparietal sulcus in humans: an event-related fMRI study. *J Neurophysiol* 85: 1309-1314, 2001.
 - 12) Taira M, Nose I, Inoue K, Tsutsui K. Cortical areas related to attention to 3D surface structures ased on shading: an fMRI study. *Neuroimage* 14: 959-966, 2001.
 - 13) 半田知也：3D映像の現状と生体安全性. *日本の眼科* 82：1044-1048, 2011.
 - 14) Shibano N, Hareesh PV, Kashiwagi M, Sawada K, Takemura H: Development of VR experiencing system with hemispherical immersive projection display. *Asia Display/IDW' 01*, 1369-1372, 2001.
 - 15) Handa T, Ishikawa H, Shimizu K, Kawamura R, Nakayama H, Sawada K: A novel apparatus for testing binocular function using the 'CyberDome' three-dimentional hemispherical visual display system. *Eye* 23: 2094-2098, 2009.
 - 16) 半田知也：両眼視の新しい検査法について教えてください. *あたらしい眼科* 27（臨増）：246-248, 2010.
 - 17) 植村恭夫：弱視の診断と治療. 81-86, 金原出版, 東京, 1993.
 - 18) Byrn JC, Schluender S, Divino CM, et al: Three-dimentional imaging improves surgical performance for both novice and experienced operators using the da Vinci Robot System. *Am J surg* 193: 519-522, 2007.
-