

像面位置と輻輳位置の一致性が眼精疲労に与える影響 Eyestrain is altered by the congruency between image plane and convergence plane while viewing 3-D display

正田真利恵[†], 岩根透[†], 新美亮輔[‡]
Marie Shoda, Toru Iwane, Ryosuke Niimi

[†] (株) ニコン映像事業部開発統括部, [‡] 東京大学大学院人文社会系研究科
NIKON CORPORATION, Development Sector, Imaging Business Unit., The University of Tokyo, Graduate school of
Humanities and Sociology.
MarieShoda@nikon.com

Abstract

3D-imaging technology is now out blooming and it enables us to experience an outstanding adventure in one's living room or in movie theater, but contrary, the new technology also brings us a new health problem; heavier eyestrain. We examine whether eyestrain is caused by the incongruence between the eye's convergence plane and the imaging plane or by the unrealistic light field, which is against the knowledge of environment. To test those two hypothesis, we compared the increment of HFC after watching images, which indicates the increment of contraction of the ciliary muscle, among three display condition: 1. New 3D image condition, in which light field display and image which was shot by the light field camera brought congruency between eye's convergence plane and imaging plane, 2. Old 3D image condition, in which parallax added image caused the incongruence between the two planes, and lastly 3. 2D image condition, as a control condition. We found that the increment of HFC along with depth is decreased after the observation of new 3D image, though the total amount of HFC after the observation did not significantly decrease in new 3D image condition when comparing with the old 3D image condition and 2D image condition. Our results suggest that the eyestrain is not solely determined by the incongruence between eye's convergence plane and the image plane, but it is also affected by the higher-level speculation about the lighted environment, based on the existing knowledge about which is derived from light source, object surface, and reflective light.

Keywords — Eyestrain, Light field display, Light field camera, Three dimensional image

1. はじめに

映画産業が中心となって、近年、従来の 2D 映像では体験できないような臨場感が付加された 3D 映像が多く提供されるようになった。北米の映画市場を例にすると、全興行収入における 3D

映画が占める割合は、2007 年から 2011 年にかけて約 20 倍に増加した（日本貿易振興機構（ジェトロ）海外調査部調査企画課, 2013）。しかしながら同時に、3D 映像が視聴者の健康を害する危険性も報告されるようになった。たとえば市場に普及している 3D ディスプレイの一つであるレンチキュラー型のディスプレイを観察しているときには、2D ディスプレイ観察時に比べて、眼精疲労が強くなる。レンチキュラー型ディスプレイでは像面位置と輻輳位置が一致しないことから、この不一致が眼精疲労の主要因であると考えられている（Yano, Ide, Mitsunashi, Thwaites, 2002）。3D 映像が流行している現状を鑑みると、眼精疲労をあまり誘発しない新方式の 3D ディスプレイの開発や、適切な規制の策定を急ぐことが必要であるが、現状では課題の洗い出しに留まっており進展は少ない（例：財団法人機械システム振興協会, 2009）。

本研究では、新しい 3D 画像表示ディスプレイ（light field display）と 3D 画像取得デバイスであるライトフィールドカメラ（Iwane, 2010, 2013）を用いて作成した 3D 画像（新 3D）の観察時の眼精疲労について検討した。この新 3D は、レンチキュラー型をはじめとする従来の視差が付与された 3D 画像（旧 3D）と異なり、ディスプレイ上に被写体像と共役となる 3D 像面を再現する（Iwane, 2013）。結果的に観察者には、像面位置と輻輳位置が一致する 3D 画像が提示される。3D 像面を再現する手法の一つであるホロスコープによって提示された画

像を観察する際には、実物体を観察するときと同等の輻輳・調節が行われることが知られている（大原・米山・栗田・坂本・奥山, 2014）。したがって、像面位置と輻輳位置の不一致が3D画像観察時の眼精疲労を生むという仮説が妥当であるならば、新3D観察後の眼精疲労は旧3D観察後に比べて低下し、2D観察後と同程度になると予測される。これに対して、実物体が存在するときに生じる光線状態とは異なる不自然な（ただし奥行き感知は知覚できる）光線状態を再現することにより、何らかの認知負荷が増加し、依然として眼精疲労が引き起こされるならば、2D観察後よりも両3D観察後に眼精疲労が増加するだろう。これらの仮説を検証することで、3D画像観察時に生じる眼精疲労が、眼筋の緊張と像面位置の一致性という比較的低次の要因によって生じるか、それ以外の何らかの高次の要因（外界の知識に即して推測された光線状態と、現状の刺激が再現した光線状態の不一致）によって生じるかを明らかにする。

2. 方法

6名の健常若年者を対象に、ディスプレイ観察前後の眼精疲労を測定した。測定時期（観察前後）、眼精疲労計測時の調節位置（奥から0, 1, 2, 3）、画像の提示法（新3D, 旧3D, 2D）の3要因参加者内計画であった。実験は遮光された小部屋で行った。提示法はブロック間要因とした。各ブロックは10分以上の間隔をあけて実施した。刺激観察の前後にアコモレフケラト Speedy-i K モデル（ライト製作所製）を用いて、調節位置4点ごとに毛様体筋の筋緊張量（HFC）を測定した。一般に調節位置に依存してHFCは変化するが、それと同時に眼精疲労の強度に比例してHFCは増加する。

刺激に含まれる情報量を3つの提示方法でできるだけ同等にするため、単一撮像データから3種類の異なるアルゴリズムで作成した刺激が、同一ディスプレイ上に3つの提示方法のいずれかで提示された。注視点（0.5秒）、刺激（25

秒）、赤・青・緑のパッチで構成された市松模様のマスク画面（1秒）から1試行を構成し（図1）、各ブロックで38試行を提示した。参加者が刺激を観察していたことを保証するため、刺激提示中になるべく多くの刺激の表面特徴の印象をオノマトペで口頭させると同時に、刺激の立体感を5段階で口頭にて報告させた。なお刺激はランダム順に提示した。3つの提示法の順序も、参加者間でカウンターバランスをとった。この実験手続きは東京大学において実験倫理審査を経て承認された。

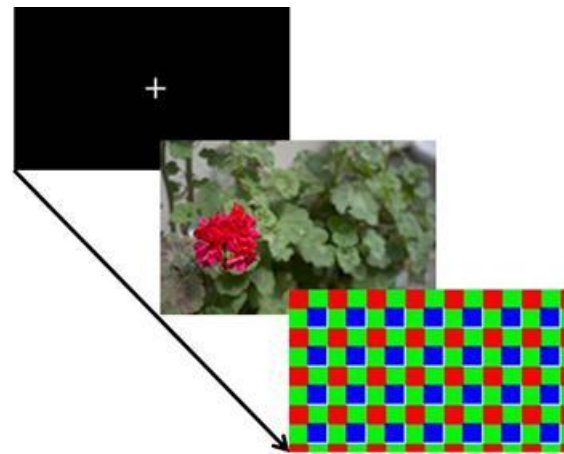


図1. 試行の流れ

3. 結果

観察前後のHFCの変化に着目する。まずは3要因分散分析をHFCに対して行うことで、観察前後で提示法によって眼精疲労がどのように変化したかを明らかにする。つづいて調節位置に対するHFCの関係の変化を検証した。

全体分析 図2に示した結果に対して3要因分散分析を行ったところ、3要因交互作用のみが有意になった（ $F(6, 30) = 2.52, p < .05$ ）。つまり、眼精疲労は単純に提示法のみによっては変化しないが、観察前後や調節位置の条件によっては眼精疲労が提示法で変化することが示された。

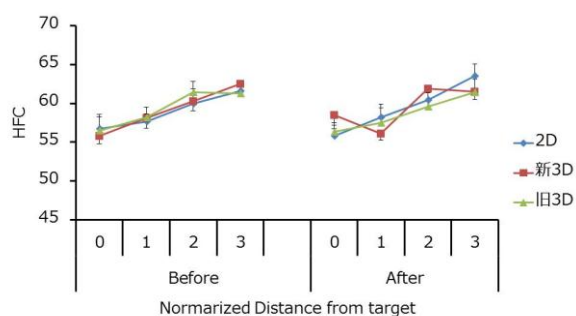


図 2.標的位置に対する平均 HFC 量
(エラーバーは標準誤差を表す)

調節位置と HFC の関係性 調節位置と HFC の関係性の変化を検証するため、両者のピアソンの積率相関係数を算出し (図 3), 観察前後と提示法の 2 要因分散分析を実施した。なお本分析での調節位置は各個人のローデータをを用いた。交互作用が有意になり ($F(2, 10) = 6.79, p < .05$), 新 3D において, 観察前よりも観察後の相関係数が有意に減少した ($F(1, 15) = 6.35, p < .05$)。すなわち, 調節位置による HFC の増分が新 3D 観察後に減少することを意味している。

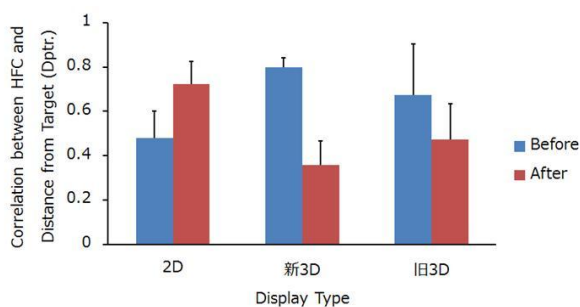


図 3. 各条件における標的位置と HFC 量の平均相関値
(エラーバーは標準誤差を表す)

4. 考察

新 3D に限り, 調節位置に対する HFC の増加傾向が減少したため, 像面位置と輻輳位置の不一致が眼精疲労を高めるとする仮説が部分的に支持された。新 3D で提示された刺激を観察することで, 手前に提示される刺激に対して過調節を行わなくなると解釈できる。この結果は, 奥行き距離に対する眼精疲労の増加が旧 3D に

比べて弱いことを示唆している。したがって, 遠近感が強くかつ主要被写体が奥行き方向に移動する動画を新 3D によるライトフィールドディスプレイ上に提示したとしても, レンチキュラタイプのディスプレイ上に提示した場合に比べて, 眼精疲労が低く押さえられる可能性がある。

しかしながら当初の予測とは異なり, 新 3D 観察前後の HFC の増分が調節位置によらず他方式に比べて低下しなかったことから, 像面位置と輻輳位置の不一致の他にも 3D 画像観察時の眼精疲労に大きな影響を与える要因があると考えられる。この要因を同定し, 3D ディスプレイ観察時の眼精疲労をさらに低減する方法を探ることは, 今後の課題と言えよう。

参考文献

- [1] 日本貿易振興機構 (ジェトロ) 海外調査部調査企画課 (2013). 米国コンテンツ市場調査 (2011-2012) : 映画編.
- [2] Toru Iwane (2010). Focal point detection device. WO 2010001641 A1.
- [3] Toru Iwane (2013). Three-dimensional image display device. WO2013031698 A1.
- [4] Toru Iwane (2013). Light field camera and IP display. Proceedings of 3DSA2013
- [5] 大原龍一・米山拓広・栗田正伸・坂本雄児・奥山文雄 (2014). 電子ホログラフィの再生像の奥行きに対する静的輻輳・調節応答の測定. 映像情報メディア学会誌 **68**, J144-J151.
- [6] Yano, S., Ide, S., Mitsuhashi, T., & Thwaites, H. (2002). A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV / HDTV images. Displays, **22**, 191-201.
- [7] 財団法人 機械システム振興協会 (2009). 次世代立体視コンテンツ制作環境の開発に関するフィージビリティスタディ報告書.