

3D映像視聴における焦点距離と輻輳距離の矛盾が 生体に与える影響の評価

Assessment of Fatigue Caused by Accommodation Convergence Mismatch while Viewing 3D Scenography

○山賀達也*, 吉澤誠**, 杉田典大*, 阿部誠*, 本間経康***

Tatsuya Yamaga*, Makoto Yoshizawa**, Norihiro Sugita*, Makoto Abe*, Noriyasu Homma***

*東北大学大学院工学研究科, **東北大学サイバーサイエンスセンター,

***東北大学大学院医学系研究科

*Graduate School of Engineering, Tohoku University,

**Cyberscience Center, Tohoku University

*** Graduate School of Medicine, Tohoku University

キーワード: 3D映像(Three-dimensional scenography), 生体影響(Biological assessment),
焦点調節 (Accommodation), 輻輳運動(Convergence)

連絡先: 〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3,

東北大学サイバーサイエンスセンター 先端情報技術研究部 吉澤・本間研究室
山賀達也, Tel: (022)795-7130, Fax: (022)795-7129, E-mail: yamaga@yoshizawa.ecei.tohoku.ac.jp

1. はじめに

近年、一般ユーザへの3D映像の普及が進んでいる。3D映像は、特有の飛び出しや奥行き感といった情報から、従来の2D映像と比べて臨場感や没入感が増すという利点がある。一方で、3D映像視聴による眼精疲労や3D酔いといった症状が報告されており、視機能が発達段階である子供への悪影響が懸念されている¹⁾。したがって、3D映像視聴による生体への悪影響に関して、原因の解明および影響の評価方法や対処策の確立が必要となっている。

3D映像による生体影響に関しては、以前から様々な研究が行われているが、その要因については未だ明らかになっていない。しかし、要因の1つとして考えられているのが、3D映像視聴時における焦点距離と輻輳距離の矛盾である。視覚系のモデルによると、焦点調節系と輻輳調節系とは互いにリンクしており、

自然な立体視の場合はこれらが独立に動くことはない²⁾。一方、3D映像などの人工的立体視の場合、これら2つの系の中に矛盾が生じ、この矛盾を解消するために非干渉制御が強えられることが問題と考えられている。

以上を踏まえ、本研究では、3D映像視聴による眼精疲労が焦点距離と輻輳距離の矛盾に起因するという仮説の検証を目的とする。

2. 3D映像視聴における立体視のメカニズム

焦点調節とは、目の水晶体の形状を変化させることで網膜上に注視対象の鮮明な像を形成する機能である。対象が近くにある時は水晶体を厚くし、逆に遠くにある時は薄くすることで注視点にピントを合わせる。眼球から注視点までの距離を焦点距離と呼ぶ。また、輻輳調節とは視線を交差させる両眼の動きであり、眼球から左右の視線が交差する点まで

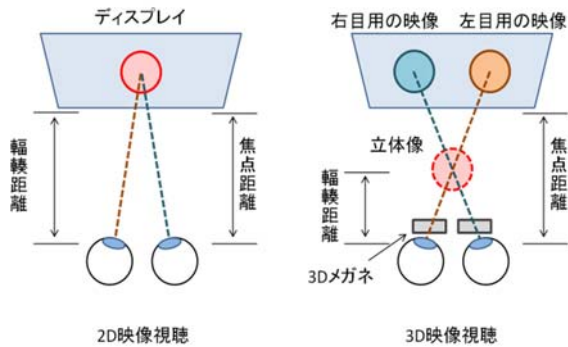


図1 3D映像と2D映像視聴時の焦点距離と輻輳距離の関係

の距離を輻輳距離と呼ぶ。2つの視線のなす角度を輻輳角と呼び、遠方を注視する際は小さく、近くを注視するにつれて大きくなる。

図1に2D映像視聴時と3D映像視聴時における焦点距離と輻輳距離の関係を示す。2D映像を視聴する際、焦点距離と輻輳距離は共に視聴者からディスプレイまでの距離となり、両者は一致することが分かる。一方、3D映像を視聴する際は、焦点は映像が提示されているディスプレイ面に合わせられているのに対し、輻輳は立体像が形成されている面に合うこととなる。そのため、輻輳距離と焦点距離とが一致しない。このような3D映像視聴時の焦点距離と輻輳距離の矛盾が、眼精疲労を引き起こす要因となっている可能性がある。

3. 実験方法

3.1 概要

本研究では、前述した仮説を検証するために、焦点距離と輻輳距離の矛盾以外の要素を極力なくした実験系を構築し、25名(男性16名、女性9名)の被験者を対象とした実験を実施した。被験者の視力は、裸眼もしくはコンタクトの着用で全員0.8以上であった。また、被験者は実験前に焦点距離と輻輳距離に矛盾がある映像を視聴する群(12名)と矛盾がない映像を視聴する群(13名)の2つに分けられ、図2に示すようなプロトコルに沿って実験を行った。図中に示した測定項目に関しては後述する。1回の実験でかかる時間は2時間程度であった。

3.2 実験装置と負荷映像

3D映像の生体影響を調べる研究では、2D

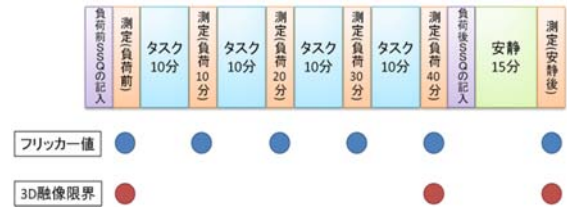


図2 実験プロトコル

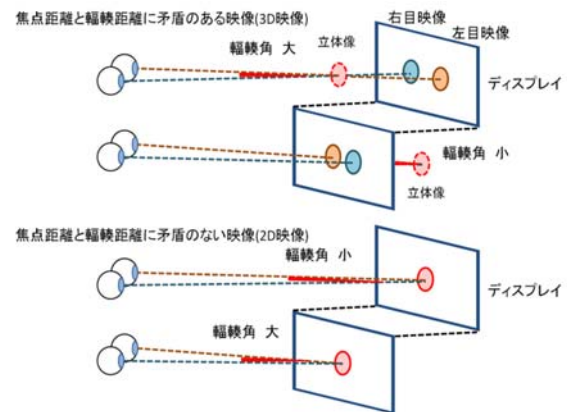


図3 焦点距離と輻輳距離の矛盾の有無のみを比較する実験系

映像との比較を行うのが一般的である³⁾。しかし、単純に2D映像と3D映像の視聴を比較するだけでは眼球運動に伴う輻輳角が異なっているため、焦点距離と輻輳距離の矛盾以外にも実験条件に違いが生じてしまう。そこで本研究では、図3に示すような視距離の異なるディスプレイ2つを上下に配置することで焦点距離と輻輳距離の矛盾の有無のみを比較する実験系を構築した。被験者とディスプレイの距離は、それぞれ100cmと78.8cmである。

3D映像の生体影響を評価するための標準的な負荷映像は未だに確立されておらず、研究によって様々なものが用いられている。例えば、塩見ら⁴⁾は、単純な視標のみを表示する3D映像を用いているが、被験者の映像に対する飽きの影響が懸念され、さらに立体像を融像させずに視聴できてしまうという問題点がある。また、根岸ら⁵⁾は、映像視聴中にタスクを行わせることで飽きの影響を排除しているが、片目のみでも行えるタスクであるため3D映像の影響を正確に評価できていない可能性がある。

これらを踏まえ本研究では、立体視を正しく行わないと正解できないようなタスクを被験者に課した。具体的には、視覚心理の映像

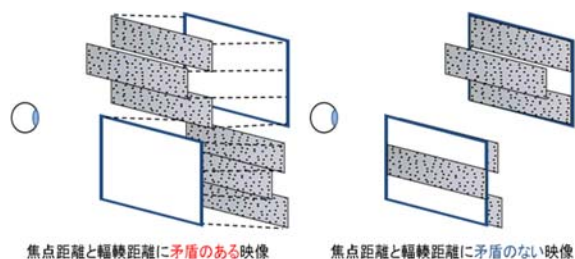


図4 実験で用いた負荷映像

として多く用いられているランダムドットステレオグラムを用い、図4に示したように、同じ画面内に層として飛び出している部分とそうでない部分が存在する3D映像をPCによって作製した。被験者には、画面の中で最も飛び出している層を答えてもらうタスクを課すことで、映像視聴中は必ず立体像を融像させなければならない状態にした。

3.3 眼精疲労の評価

本研究では、眼精疲労を評価する方法として、主観的評価であるシミュレーター酔いアンケート (Simulator Sickness Questionnaire; SSQ)⁶⁾、客観的評価であるフリッカー値⁷⁾および3D融像限界⁸⁾の3つを用いた。

SSQは、映像酔いや眼精疲労の程度を調べるアンケートとして広く用いられており、16の質問に0から3の4段階で回答する。回答結果の素点に対し重み付けをすることでNausea (N, 気持ち悪さ), Oculomotor (O, 目の疲れ), Disorientation (D, ふらつき感), Total Score (TS, 総合評価)の4項目を算出し評価する。

フリッカー値は、大脳を含む高次の視覚特性を反映しており、精神的疲労の測定に有効であると報告されている。近年では、視覚疲労の評価においても多くの研究で用いられている。本研究ではフリッカー値測定器II型(竹井機器工業社製)を用いて計測を行った。測定では、20Hzから徐々に光の点滅周波数を上げていき光の点滅が認識できなくなる周波数と、逆に60Hzから点滅周波数を下げていき光の点滅が認識できようになる周波数について測定を行った。これを3回繰り返し、平均値をとることで評価を行った。

3D映像は、主に左目用の映像と右目用の映像のずれによる両眼視差を利用して、飛び出しや引っ込みといった奥行き情報を与えている。しかし、ディスプレイの手前側と奥側どちらの場合であっても、目が立体像を融像さ

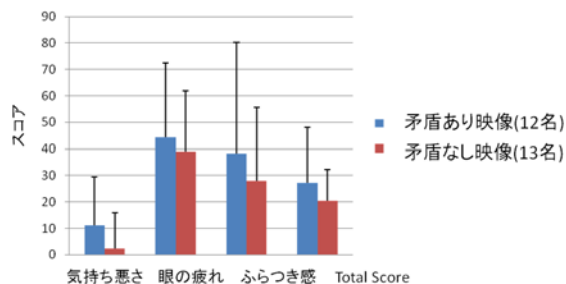


図5 シミュレーター酔いアンケート (SSQ) の結果

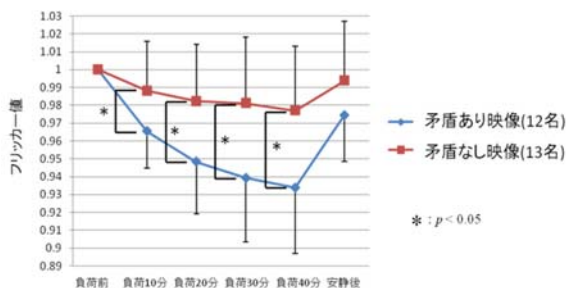


図6 フリッカー値の結果

せることができる範囲には限界がある。この融像できなくなる限界の距離は眼精疲労などの視機能への影響と関連していると考えられることから、以下の方法により計測を試みた。本研究での3D融像限界の測定では、被験者から100cm離れたディスプレイ上に1.6cm×0.6cmの四角形の視標を表示し、その指標が0.5cm/sの速さで被験者に近づいてくる映像を提示した。視標が被験者に近づき過ぎて融像しなくなった瞬間にマウスをクリックしてもらい、その時の飛び出し量を記録した。測定は2回行い、その平均値を融像限界の測定値とした。

4. 実験結果

図5にSSQの結果を示す。図では、SSQの4項目について被験者毎に負荷前後の差を求め、矛盾あり映像視聴群(12名)と矛盾なし映像視聴群(13名)それぞれで平均値と標準偏差を示した。Welchのt検定を用いて2つの被験者群の比較を行った結果、両者の間に有意差は認められなかった。

次に、フリッカー値の結果を図6に示す。図は、矛盾あり映像視聴群(12名)と矛盾なし映像視聴群(13名)それぞれの平均値の時間変化を示している。フリッカー値は負荷前からの減少率で疲労を判断するため、図6においても負荷前を1として規格化した値を用

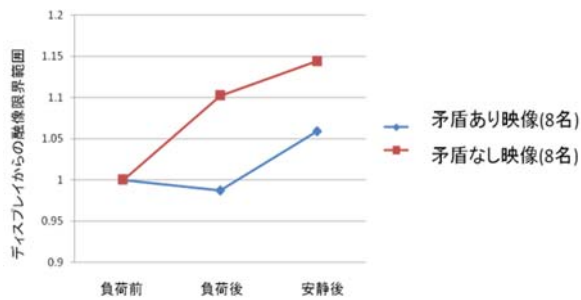


図7 3D融像限界範囲の結果

いている。Welch の t 検定を用いて各時間帯における 2 つの被験者群の平均値を比較した結果、負荷開始 10 分後から 40 分後までの時間帯で有意差 ($p < 0.05$) が認められた。

図 7 に 3D 融像限界を用いた評価の結果を示す。図は、矛盾あり映像視聴群の一部(8名)と矛盾なし映像視聴群の一部(8名)から得られた 3D 融像限界範囲を示している。これもフリッカー値と同様、負荷前の値を 1 として規格化を行っている。3D 融像限界の測定においては、被験者によっては全く融像しないと答える場合があったため、このような例を除外した。そのため、結果に示した被験者数が全体より少なくなっている。図7の結果より、2つの被験者群の間に有意差は認められなかったが、負荷前に比べ負荷後の方が 3D 融像限界の範囲が増加する傾向がみられた。これは、タスクにより目が 3D 映像に順応したことによる影響が要因だと考えられる。

5. 考察

客観的指標であるフリッカー値を用いた評価では、矛盾あり映像視聴と矛盾なし映像視聴の間に有意差が認められた。これは、矛盾あり映像の方がより強い眼精疲労を引き起こす可能性があることを示しており、仮説を支持する結果である。一方、主観的指標である SSQ を用いた評価では、両者の間に有意な差はみられなかった。これらの結果は、3D 映像視聴時の焦点距離と輻輳距離の矛盾に起因する眼精疲労は、主観的には捉えることができないくらい小さい、もしくは個人差が大きいものであり、評価には客観的指標を用いる必要があることを示唆している。

3D 融像限界による評価では 2 つの映像の間に有意差は認められなかった。これは、3D 融像限界範囲自体に大きな個人差が存在することに加え、被験者によって融像しているかど

うかの判断基準が異なっていることが原因として考えられる。

これらを踏まえ、今後はさらに他の評価指標を加えた実験および解析が必要であると考えられる。例として、眼球運動測定による視覚系の応答特性を評価することなどが考えられる。2D 映像と 3D 映像を交互に視聴した際の眼球運動を測定すると、輻輳角がステップ状に変化することが分かる。この変化における輻輳応答時間や収束特性を分析することで、視覚系への影響を評価できる可能性がある。

6. おわりに

本研究では、3D 映像視聴により引き起こされる眼精疲労は焦点距離と輻輳距離の矛盾に起因するという仮説の検証を行うために、焦点距離と輻輳距離の矛盾の有無のみを比較できる実験系を構築し、25 名の被験者を対象とした実験を行った。また、負荷映像視聴中には、立体視を正しく行わないと遂行できないタスクを被験者に課した。眼精疲労の評価方法としては、SSQ、フリッカー値、3D 融像限界の 3 つを用いた。

実験の結果、SSQ を用いた評価では 2 つの映像視聴による有意差が認められなかったが、フリッカー値を用いた評価では、矛盾あり映像の方が矛盾なし映像より視覚疲労を引き起こす可能性があることが示され、仮説を支持する結果を得た。また、3D 融像限界を用いた評価では、3D 映像の長時間視聴によって 3D 融像限界の範囲が拡大する傾向があることが示めされた。

参考文献

- 1) 3D コンソーシアム(3DC)“安全ガイドライン部会”, 人に優しい 3D 普及のための 3DC 安全ガイドライン, 3D コンソーシアム (2010).
- 2) Clifton M.Schor, A Dynamic Model of Cross-Coupling Between Accommodation and Convergence: Simulations of Step and Frequency Responses, OPTOMETRY & VISION SCIENCE, 69, 4, 258-269(1991)
- 3) 川村 佑太, 佐野 啓介, 小玉 博也, 角田 尚喜, 渋谷 優輝, 河内 祐樹, 堀江 悠介, 山田 光穂, 2D 映画と 3D 映画視聴における輻輳眼球運動, SSQ, CFF の分析, 東洋大学紀要情報通信学部, 5, 2, 17-22(2012)

- 4) 塩見 勇樹, 堀 弘樹, 長谷川 聡, 高田 宗樹, 大森 正子, 松浦 康之, 石尾 広武, 長谷川 旭, 神田 哲也, 宮尾 克, 実物体と2D映像, 3D映像を用いた水晶体調節反応と輻輳運動の長時間同時測定- 若年者と中高齢者の立体視機構の違い-, The Virtual Reality Society of Japan, **16-2**, 139/148 (2011)
- 5) 根岸 一平, 水科 晴樹, 安藤 広志, 正木 信夫, 視覚誘発電位による立体映像観視時の視覚疲労の評価. ITE Technical Report, **36**, 13, 43-46 (2012)
- 6) Kennedy RS, Lane NE, Berbaum KS, Lilienthal MG, Simulation Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, Int. J. Aviat. Psychol., **3-3**, 203/220 (1993)
- 7) 三橋 哲雄, CFFの測定点解析法とテレビ観視者の疲労に関する一検討. 電子情報通信学会論文誌, **J77-A**, 12, 1768-1776 (1994)
- 8) 長田 昌次郎, 立体像の観視時における輻輳性融合立体視限界 VFSL の分布, 日本バーチャルリアリティー学会論文誌, **7**, 2(2002)