

3次元映像と2次元映像観察時に生じる疲労感の違い —— 主観的・客観的指標を用いた検討 ——

立教大学現代心理学部 日高 聡太
立教大学現代心理学部 池田 華子
立教大学現代心理学部 石山 智弘

Subjective and objective measures of differences in feelings of fatigue when watching 2-D and 3-D movies
Souta Hidaka (College of Contemporary Psychology, Rikkyo University),
Hanako Ikeda (College of Contemporary Psychology, Rikkyo University), and
Tomohiro Ishiyama (College of Contemporary Psychology, Rikkyo University)

A variety of research has investigated how the observation of 3D movies induces a feeling of fatigue. While most have presented commonly used 3D movies, which for visual safety are edited to within 1 degree of disparity, the influence of 3D movies containing excessive disparity has not yet been investigated. This study examined the effect of 3D movies containing over 1 degree of disparity on observers' feelings of fatigue, using subjective (questionnaire about feelings of fatigue) and objective (pupillary reflex response) measurements. We also investigated whether blurred images interleaved in movies could have some effects on feelings of fatigue. The results of the questionnaire showed that observers' feelings of fatigue were greater for 3D movies than for 2D ones. Moreover, we found that the 2D movies with non-blurred images and the 3D movies with blurred images increased observers' feelings of discomfort and the amount of pupil constriction ratio. These results indicate that the observation of 3D movies containing excessive disparity could be potentially risk enhancing observers' feelings of fatigue.

Key words : 3D movies, 2D movies, feeling of fatigue, disparity, pupil response.

近年、3次元映像の効果と実用性について再び注目が高まっている。安価かつ容易に3次元映像視聴を可能にする家庭用のハードウェアが開発され、映画をはじめとして様々な3次元映像コンテンツが、家庭用映像視聴機あるいはゲーム機向けにリリースされている。その一方で、3次元映像には、映像酔いや極度の眼精疲労など、視聴者側に及ぼす負の影響があると考えられている。そのため、アメリカのハリウッドや、日本の3Dコンソーシアムなどで独自に制定されたガイドライン (http://www.3dc.gr.jp/jp/scmt_wg_rep/guide_index.html) にしたがって、片眼ずつ水平方向にずれた情報を与え、平面上での奥行き知覚を可能にする

(両眼立体視と呼ぶ) 両眼視差の量や、画面までの観察距離等に関する安全基準が決められている。

これまで、3次元映像観察時に実際にどのような疲労が生じるかについて、主観的な指標および客観的な生理指標を用いて、いくつか検討が行われている (川久保・吉野・小口, 2014; Ke, Chen, Lai, Tsai, & Pong, 2012; 窪田・工藤・竹本・嶋田・中村, 2013; Lee, Heo, & Park, 2010; Lee & Song, 2012; 森田・安藤, 2012)。例えば森田・安藤 (2012) は、500人を対象に、主観的な指標として質問紙を、客観的な指標として生理計測の一種である臨界融合周波数 (CFP) などを組み合わ

せ、TV画面に提示される2次元映像と3次元映像観察時の疲労感について調査を行った。そして、3次元映像を見るために必要な眼鏡を装着した場合に疲労感が高まるが、観察距離の違いおよび2次元・3次元の映像の種類の違いが、疲労感に影響を及ぼさないことを報告している。

この結果は、一見すると3次元映像が視聴者にとって安全であることを示唆している。しかし、これまで先行研究では、概して先に述べたガイドラインに沿って作成された一般的に流通している映像コンテンツが使用されていた。例えば、森田・安藤(2012)では、1時間の映像中に視差1度を超えるシーンが1分に満たないものが用いられていた。したがって、潜在的な疲労要因がそもそも低減されており、3次元映像観察によって生じる疲労効果を検証するには不十分な映像刺激であったと考えられる。さらに、これまでの研究では、3次元映像によって主観的な疲労感や不快感が高まるとするものもあれば(例えばKe et al., 2012)、そうではないという知見もあり(例えば森田・安藤, 2012)、個人差が大きな要因となっている指摘があるなど(Lee & Song, 2012)、一貫した結論は得られていない。加えて、これまで経験的にガイドラインが設定されてきたものの、比較的大きな画面(例えば映画のスクリーン)の視聴が想定されており、一般的なTV画面のサイズにおいて生じる疲労について検討した研究は少な

いことも指摘されている(森田・安藤, 2012)。以上のことから、3次元映像観察によって生じる疲労効果には引き続き検討の余地があるといえる。

そこで、本研究では、独自に作成した3次元映像コンテンツを用い、主観的な指標と客観的な指標を組み合わせて、TV画面のサイズで提示される2次元映像と3次元映像観察時の疲労感について検証することを目的とした。実験には、著者らが撮影したオリジナルの映像から作成した3次元映像を用いた。30分間の映像中に視差1度を超えるシーンが約9分半含まれていた。疲労感については、主観的な指標として疲労調査質問紙(Kuze & Ukai, 2008; 大野・鶴飼, 2000)を、客観的な指標として、疲労感測定のための代表的な測度である瞳孔反射を用いた(近藤・西村・石井・下田・吉川, 2006)。

3次元映像観察によって生じる疲労の原因の一つとして、調節と輻輳の矛盾が挙げられる(矢野・江本・三橋, 2003)。普段我々は、近くのものを見る場合と遠くのものを見る場合とで、眼の水晶体の屈折率を調節し、網膜上に焦点を合わせている。同時に、近くのものを見る際には眼をより内側に、遠くのものを見る際にはより外側に回転させるというように、輻輳を変化させている。日常場面では、対象の位置と奥行きが一致するため、両者に矛盾は生じない。しかし、平面上のス



Figure 1. 鮮明画像(左)と不鮮明画像(右)の例

実験では、高解像度画像(1920 × 1080 pixel)において3 × 3 pixelのフィルターを施したが、本図では、画像処理の違いを明確に示すため、不鮮明画像には10 × 10 pixelのフィルターが施してある。実験ではカラー画像を提示した。

クリーンに3次元映像を提示する際、片眼ずつに水平方向にずれた画像を提示し、それらを融像することで見かけの奥行きを与えている。したがって、両眼の映像が融像された状態を維持するため、調節は実際に画像が提示された位置に対して行われるが、輻輳は立体像が知覚された、見かけの奥行きに対して行われることになる。この矛盾が、疲労の原因と考えられている。この調節と輻輳の矛盾を取り除くための要因として、不鮮明な画像 (Figure 1 右) を提示することが考えられた。人は、一連の画像が連続的に動画として提示される際、低空間周波数成分が濾過された不鮮明画像が挿入されてもその存在に気がつかず、鮮明な動画像を知覚する。これは、人の知覚システムは時間分解能がそれほど高くないため (—100 ミリ秒)、動画を観察する際、内的に画像の不鮮明さを補う機構があるためであると考えられている (Bex, Edgar, & Smith, 1995 ; Burr, 1980 ; Takeuchi & De Valois, 2005)。不鮮明な画像は鮮明な画像に比べ含有する情報量が少ないことから、映像コンテンツの容量を低減するなど、動画配信技術への応用も検討されてきている (藤林・ブン, 2008 ; 竹内, 2005)。不鮮明な画像の特徴として、全体的にエッジや物体の境界の情報が曖昧になることが挙げられる。両眼立体視をする際、エッジや境界が曖昧な場合には、漠然と画像全体を融像することが可能となり、また視差情報が曖昧なため知覚される奥行きも多少弱まると考えられる。その結果、調節と輻輳の矛盾がある程度低減されたと考えた。そこで、本研究では、映像を提示する際、動画を構成する一連の画像が全て鮮明画像で提示される条件と1枚ごとに不鮮明画像が挿入される条件を設定し、そこで生じる疲労感を比較することも目的とした。

方 法

参加者

研究参加同意書に署名した立教大学の学部生、大学院生、研究員ら計50名 (男性15名、女性35名) が実験に参加した。研究は、立教大学現

代心理学部研究倫理委員会の承認を得て行った。

装置

3次元映像コンテンツ提示用の業務用3Dモニタ (Panasonic BT-3DL2550, 25 inch, 55 × 35 cm)、Blue Ray プレーヤー (Panasonic DMP-BDT320-K)、および偏光グラスを用いた。参加者は映像条件 (3次元および2次元) に関わらず、偏光グラスを装着した。また瞳孔反応測定用に、アイトラッカー (Tobii X120, サンプリング周波数120 Hz) および液晶ディスプレイ (Dell, 24 inch)、顎台を用いた。

刺激

映像コンテンツとして、立教大学の学園祭の風景を収めた30分間の動画を提示した。動画の撮影には、一つの筐体に右眼と左眼に対応する左右横方向に位置の離れた二つのレンズとレコーダーを備えた一体型二眼式3次元映像撮影用カメラ (Panasonic AG-3DA1) が用いられた。3次元映像を提示する場合、インターレース方式により、偏光グラスを通じて視差のついた画像を片眼ずつ、30 Hzの時間解像度で提示した。マルチメディアプロセッサ (SONY MPE-200) および3Dクオリティコントロールソフトウェア (SONY MPES-3DQC1) を用いて3次元映像中に含まれる視差量を計算したところ、手前方向の最大視差は2.85度で、奥行き方向の最大視差は3.26度であった。1度を超える視差が提示された時間は合計9.6分であった。2次元映像観察の場合は、左眼用の画像のみを両眼に提示して視差をつけないようにすることで、奥行きが感じられないようにした。画像の解像度は1920 × 1080 pixelであった。また、動画を構成する一連の画像が全て鮮明画像で提示される不鮮明なし条件と、1枚ごとに不鮮明画像が挿入される不鮮明あり条件を設定した。不鮮明画像あり条件では、1枚ごとに3 × 3 pixelの窓をもつフィルターによって移動平均をかけた画像が挿入された (ローパスフィルター) (Figure 1)。フィルター窓のピクセル数は、予備観察により不鮮明画像が提示されない場合と同程度に映像にちらつきが感じられない範囲で決

定した。瞳孔反応測定には、黒 (0.1 cd/m²) あるいは白の画像 (22.03 cd/m²) を画面全体に提示した。

質問紙尺度

28 項目の自覚的な疲労調査質問紙を用いた (Kuze & Ukai, 2008 ; 大野・鶴飼, 2000)。大野・鶴飼 (2000) では、全ての質問項目について、“目がかすむ”, などの 13 項目で構成された眼精疲労に関連する第 1 因子, “気分が悪い” などの 11 項目で構成された映像酔いに関する第 2 因子, また “目が痛い” など 4 項目で構成された目の不快感に関する第 3 因子が抽出されることが報告されていた。一方, Kuze & Ukai (2008) では, “眠気がする” という項目が除外され, 眼精疲労 (eye strain), 不快感 (general discomfort), 吐き気 (nausea), 注視困難 (focusing difficulty), 頭痛

(headache) の 5 因子が抽出されることが報告されていた (Table 1)。本研究では, 得られた結果に基づき, 後者の因子構造を基準とした。

手続き

実験は, 薄暗く照明された部屋の中で行った。参加者はまず, 疲労調査質問紙に回答した (Kuze & Ukai, 2008 ; 大野・鶴飼, 2000)。各項目について 1 (全くそう思わない) から 7 (非常にそう思う) までの 7 件法で回答を行った。次に, 瞳孔反応を測定した。参加者に, ディスプレイから 60cm 離れた位置に設置された顎台に顎をのせ, “なるべくまばたきをしないで下さい” という教示文が提示された画面の中央を注視するよう教示した。次に, 黒い背景の画面を 3 秒間提示した後, 白い背景の画面を 100 ミリ秒提示した。発光強度は対光反応を誘発するのに十分であり, 提

Table 1
実験で使用した質問項目および因子毎の分類

眼精疲労：Eye strain	1	目が疲れている
	2	目が痛い
	3	目が重くなる
	4	目がごろごろする
	5	目がしみる
	6	目が乾いた感じがする
	7	涙が出る
	8	目がちかちかする
	9	目がしょぼしょぼする
	10	目がかすむ
	11	目が熱い
不快感：General discomfort	12	頭がぼんやりする
	13	頭が重い
	14	肩がこる
	15	ふらふらする
	16	全身がだるい
	17	首が痛い
吐き気：Nausea	18	気分が悪い
	19	吐き気がする
	20	めまいがする
注視困難：Focusing difficulty	21	見つめていると像がぼける
	22	遠くのものが見づらい
	23	近くのものが見づらい
	24	ものが二重に見える
頭痛：Headache	25	こめかみが痛い
	26	後頭部が痛い
	27	眉間が痛い
	28	眠気がする

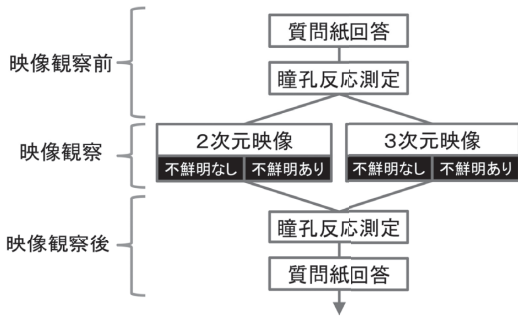


Figure 2. 本研究の手続き

示時間は対光反応潜時よりも短く縮瞳による負のフィードバックが生じないとされるものであった(近藤他, 2006)。その後, 再び黒い背景の画面が5秒間提示された。ここまですを1試行とし, これを3回繰り返した。次に, 映像観察を行った。参加者はモニターから130 cm離れた位置に着席し, 偏光グラスを装着した。モニターの高さと同観察距離の比は3.71 Hであった。この値は, 日本の3Dコンソーシアムなどで制定されたガイドラインに記載されている標準観察距離(3H)に準じていた。不鮮明画像を含むあるいは含まない, 2次元あるいは3次元のコンテンツを, 30分間無音で提示した。映像の観察後, 再び瞳孔反応の計測と質問紙への回答を行い, 実験が終了した。実験の独立変数は映像の種類(2次元・3次元)および不鮮明画像の挿入の有無(不鮮明なし・不鮮明あり), 従属変数は映像観察前後の質問紙への回答および瞳孔反応であった(Figure 2)。被験者間計画デザインを用い, 2次元・不鮮明なし条件に12名, 2次元・不鮮明あり条件に14名, 3次元不鮮明なし条件に12名, 3次元不鮮明あり条件に12名が参加した。

結果

質問紙

質問紙の結果について, 大野・鶴飼(2000)で採用されていた“眠気がする”という項目については, 多くの実験参加者が映像観察の前後で同等の評定値をつけており, 70%の参加者が観察前

と観察後の評定値の違いが0—1の範囲に収まっていた。したがって, Kuze & Ukai(2008)で報告された, “眠気がする”という項目を除外して抽出された五つの因子(眼精疲労: eye strain, 不快感: general discomfort, 吐き気: nausea, 注視困難: focusing difficulty, 頭痛: headache)(Table 1)を基準とし, 2次元・不鮮明なし条件(2D-nonblur), 2次元・不鮮明あり条件(2D-blur), 3次元・不鮮明なし条件(3D-nonblur), 3次元・不鮮明あり条件(3D-blur)毎に, 各々の評定値を映像観察前(pre)と観察後(post)でそれぞれ算出した(Figure 3A)。次に, 観察後の評定値から観察前の評定値を差分した値を評定変化値として算出した(Figure 3B)。条件毎に, 各因子の変化量について t 検定(両側, 5%水準)を用いて検討したところ, 2次元・不鮮明なし条件では不快感と頭痛因子が($t(11) = 2.82, 2.54$), 2次元・不鮮明あり条件では頭痛因子が($t(13) = 2.81$), 3次元不鮮明なし条件では眼精疲労, 吐き気, 頭痛因子が($t(11) = 2.46, 2.52, 2.34$), 3次元不鮮明あり条件では眼精疲労, 不快感, 頭痛因子が($t(11) = 3.01, 3.20, 2.81$)有意に増大していた。

瞳孔反応

参加者側(ハードコンタクトレンズ着用等)あるいは装置側(キャリブレーション後に瞳孔を認識しない等)の問題により, 各条件においてそれぞれ5名分のデータのみ分析対象となった。観察前と後のそれぞれ3回の計測データのうち, 瞬き等によるデータの欠損が最も少ない各1試行分のデータを分析対象とした。瞳孔反応には, 最大瞳孔収縮率(contraction ratio), 収縮潜時(duration), 収縮速度(contraction speed), 再拡張速度(re-contraction speed)の四つの指標があるが, 本実験では, 疲労と関連の深い瞳孔収縮率に着目した。瞳孔収縮率の値が大きいほど収縮が大きいことを示し, 疲労によって収縮率が低下することが知られている(近藤他, 2006)。条件毎および映像の観察前・後のそれぞれで, 以下の式により瞳孔収縮率を算出した: 最大瞳孔収縮率 = $1 - \text{最小瞳孔半径} / \text{最大瞳孔半径}$ (近藤他, 2006)(Figure

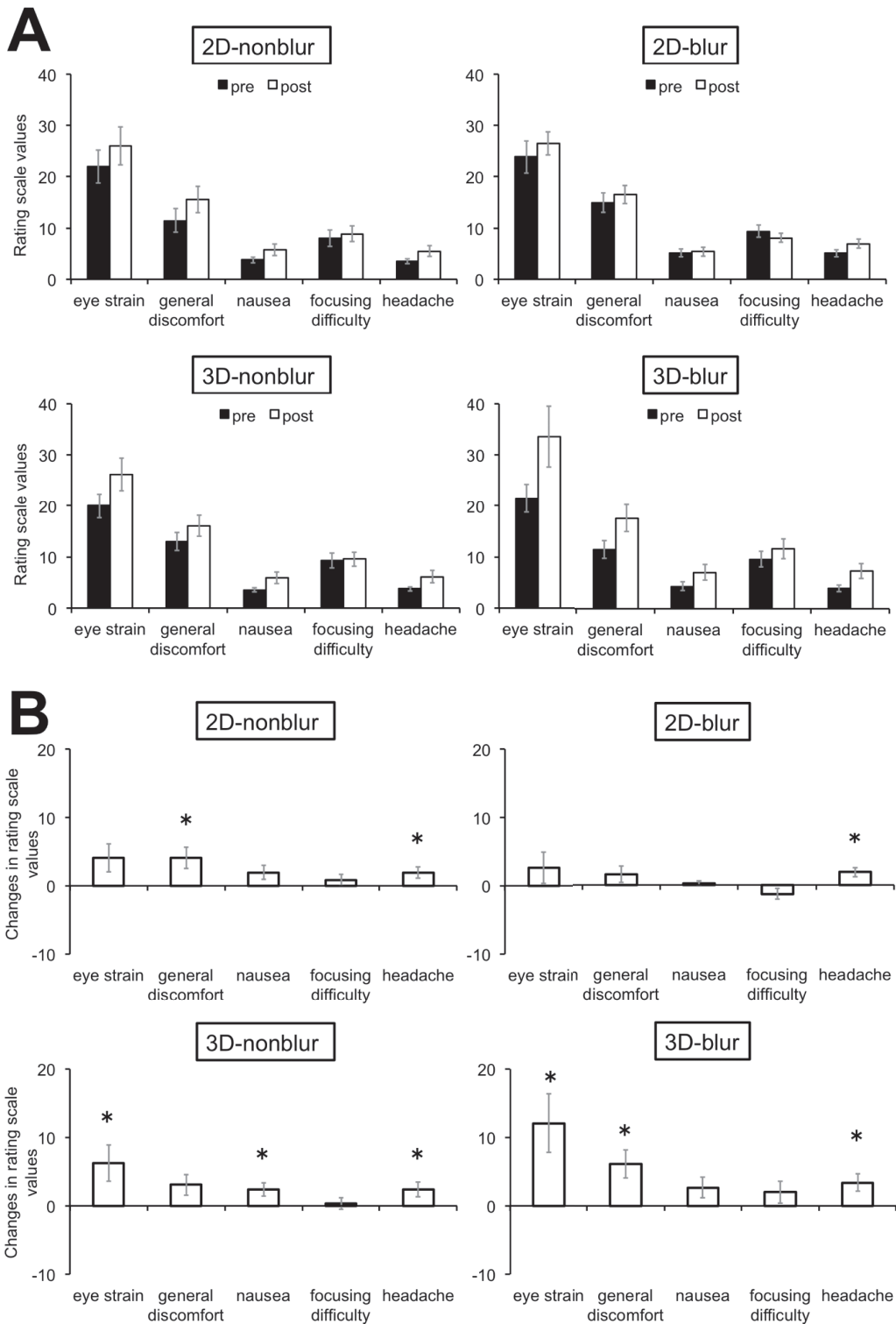


Figure 3. 各因子における質問紙評定の結果

4A, B)。次に、観察後の値から観察前の値を差分した値を変化値として算出した (Figure 4C)。変化量について、*t* 検定 (両側, 5%水準) を用いて検討したところ、2次元・不鮮明なし条件 ($t(4) = 2.97$) および3次元不鮮明あり条件 ($t(4) = 5.00$) で有意に増大していた。

考 察

質問紙

疲労調査質問紙の評定値において、2次元、3次元映像共に、頭痛因子が映像視聴後に有意に増大していた。これは、先行研究 (森田・安藤, 2012) と同様、眼鏡をかけて映像を観察することによる疲労効果など、映像を観察することそのものの疲労感を反映していると考えられる。一方、それ以外の因子に着目すると、2次元映像では不鮮明なし条件において不快感因子のみ増大がみられたが、3次元・不鮮明なし条件では眼精疲労と吐き気因子が、3次元・不鮮明あり条件でも眼精疲労と不快感因子が有意に増大していた。以上の結果は、2次元映像に比べ3次元映像の観察によってより主観的な疲労感が高まることを示唆する。

不鮮明画像の挿入に関しては、2次元映像と3次元映像とは異なる効果がみられた。2次元映像では、不鮮明なし条件において不快感因子が有意に増大したが、不鮮明あり条件ではそのような影響は見られなかった。2次元物体や単眼奥行き手がかり (陰影) によって定義された3次元物体が単一で運動する場面では、不鮮明な画像が提示されることで、運動知覚がより強く、滑らかなになることが指摘されている (Fu, Shen, & Dan, 2001; Hidaka, Kawachi, & Gyoba, 2009)。したがって、2次元映像が提示される場面では、不鮮明画像が挿入されることでより滑らかな映像として知覚され、その結果主観的な疲労感が弱まったと考えられる。

一方、3次元映像においては、不鮮明なし条件では眼精疲労と吐き気因子の有意な増大がみられたが、不鮮明あり条件では眼精疲労および不快感

因子の増大がみられた。3次元・不鮮明あり条件では眼精疲労因子が映像観察後により大きくなっていったことに加え、身体全体の不快感・違和感を表現する項目で構成される不快感因子は、気分の悪さのみを反映する吐き気因子に比べ、より全身的・全般的な疲労感を反映していると考えられる (Table 1)。このことから、我々の仮説に反して、3次元映像においては、不鮮明画像を挿入することでより主観的な疲労感が高まることを示唆された。画像が不鮮明になることで、エッジや境界が曖昧となる。これにより漠然と画像全体を融像することが可能となり、また知覚される奥行きも弱まる結果、調節と輻輳の矛盾が低減されると仮説をたてていた。しかし、画像内のエッジや境界の不鮮明化は、片眼ずつに与えられた画像を融像するための手がかりを損なわせたと考えることもできる。その場合、融像を維持するためにより知覚的な労力が高まり、結果的に疲労感が増すことは十分にあり得るだろう。さらに、不鮮明化によって画像が1枚ずつ切り替わる毎に、奥行き知覚・印象が変化していた可能性がある。このこともまた、疲労感を高める原因となったと推測される。

瞳孔反応

瞳孔収縮率に関して、映像の観察後では、2次元・不鮮明なし条件および3次元・不鮮明あり条件で有意な増大がみられた。瞳孔収縮率の低下は眼精疲労の増大を示すというこれまでの知見を考えると (近藤他, 2006)、本研究の結果は、2次元・不鮮明なし条件および3次元・不鮮明あり条件では、映像の観察によって疲労が弱まったと解釈される。しかし、ここで着目すべきは、質問紙の結果では、これら2条件においてむしろ不快感因子の有意な増大がみられたことである。先行研究では、画面全体に提示された90個の数字のついた円を順にマウスでクリックするという、視線の移動とそれに伴う焦点の調整が非常に頻繁に行われる課題を行っていた (近藤他, 2006)。一方、本研究の課題は、30分間映像を観察しつづけるというものであった。先行研究と異なり、視線はある程度画面の一定の場所に固定され、むしろ焦

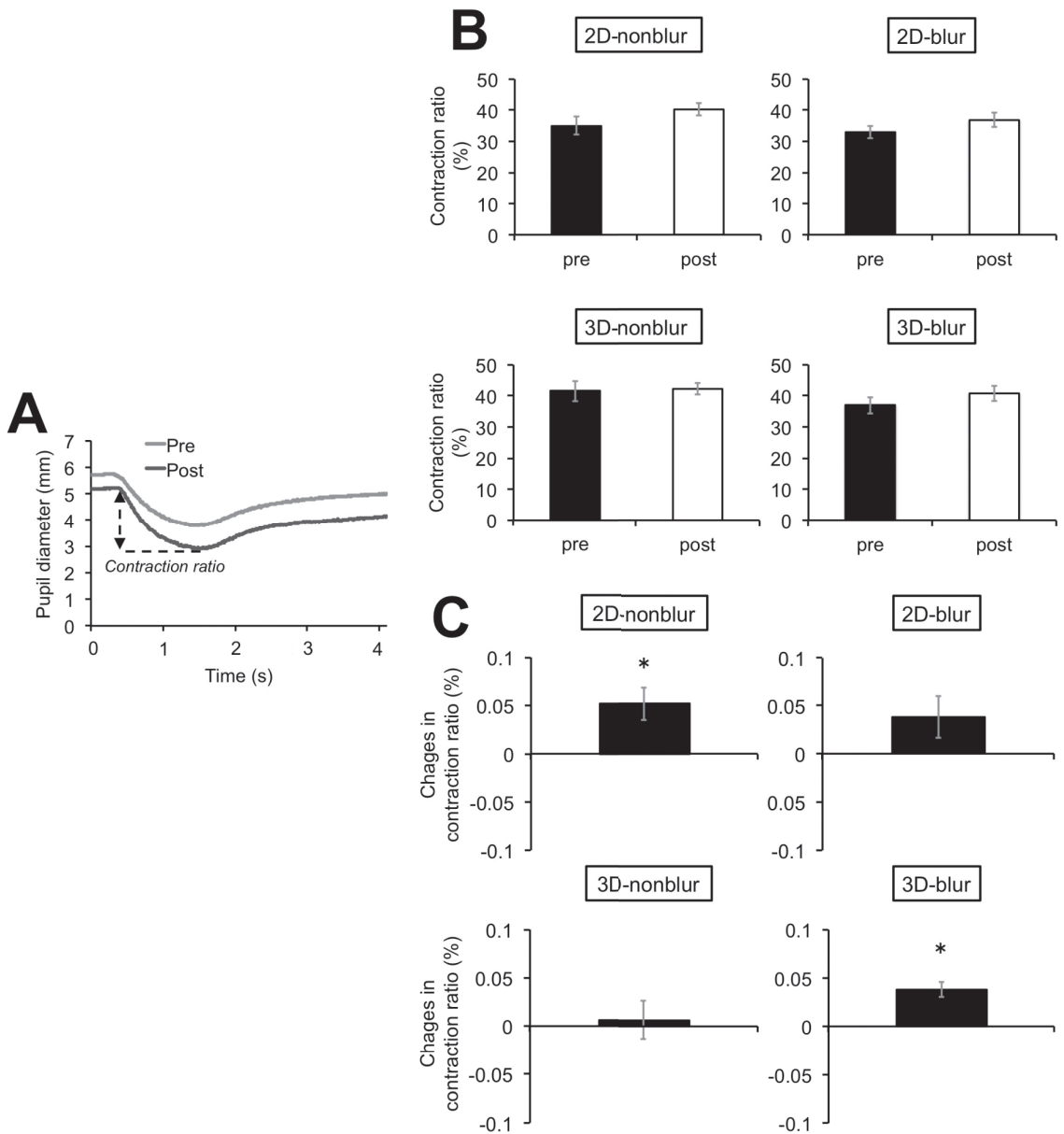


Figure 4. 瞳孔収縮率の結果

点の頻繁な調整は要求されない課題であったといえる。さらに、先に述べたように、3次元・不鮮明画像あり条件では、不鮮明化に伴い融像を維持する労力がより高まっていた可能性が考えられる。また、2次元・不鮮明なし条件は、3次元映像が提示される3次元・不鮮明画像なし条件および

びより滑らかな動きが知覚されたと考えられる2次元・不鮮明画像あり条件よりも、単調で特徴のない映像を、視線を固定しながら観察し続けるという退屈な作業になっていたのではないだろうか。不快感因子は、“頭がぼんやりする、頭が重い、肩がこる、ふらふらする、全身がだるい、首

が痛い”といった項目により構成されていることから (Table 1), 本研究で示された瞳孔収縮率の増大は, 先行研究で示された眼精疲労とは質的に異なった疲労感, 例えば不快感に関連する疲労の増大などを反映している可能性が考えられる。この点については今後, 異なる客観的指標などを用い, さらなる検討が必要である。

まとめと今後の課題

本研究では, 独自に作成した視差1度を超えるシーンが多く含まれる3次元コンテンツを用い, 疲労調査質問紙と瞳孔反射を主観的および客観的な指標として, 一般的な画面サイズに提示される2次元映像と3次元映像観察時の疲労感について検証した。また, 映像を提示する際, 全て鮮明画像である場面と不鮮明画像が挿入される場面の比較も行った。疲労調査質問紙の結果から, 2次元画像よりも3次元画像が提示される場面でより疲労感が高まることが示唆された。一方, 2次元映像では不鮮明画像が提示されない方が, 3次元映像ではむしろ不鮮明画像が提示された方がより疲労感が増大する傾向が示された。瞳孔反射については, 瞳孔縮小率の増大が主観的な不快感因子の増大と対応すると考えられた。以上の結果は, 一般的に用いられる画面サイズにおいても, 両眼視差量を適切に統制しない場合は, 3次元映像によって疲労感が増大するという潜在的なリスクが存在することを強く示唆している。

本研究では, 学園祭の風景を独自のコンテンツとして用いた。映像内に含まれる人の数や画角の大小等の映像要素に関しては, ある程度のばらつきや違いをもって提示されていたものの, 全体的に動きの要素が少ない印象であった。この点の改善を含め, 今後は様々な映像コンテンツを用いた検討が必要であると考えられる。また, 主観的な尺度として用いられる質問紙には, 本研究で用いたものの他にも自覚症状調べや Simulator Sickness Questionnaire 等がある (Ke et al., 2012; 窪田他, 2013; 森田・安藤, 2012; Lee, Heo, & Park, 2010; Lee & Song, 2012)。これらの質問紙を用いても同様の結果が得られるかなど, 引き続き検討する必

要がある。さらに, 疲労に関する客観的な指標についても, CFF など他の指標も用いられている (Ke et al., 2012; 森田・安藤, 2012; Lee et al., 2010; Lee & Song, 2012)。さらに, 本研究では, 瞳孔反射測定に関して, 装置側の問題もあり十分なデータ数が集まらなかった点も問題として考えられる。今後は, 瞳孔反射の計測設備や方法を見直した上で精度の高いデータを取得すると共に, 異なる客観的指標との関係性についても調べることが必要不可欠である。

謝 辞

本研究は文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (平成23年—平成27年) の支援を受けて行われた。

引用文献

- Bex, P. J., Edgar, G. K., & Smith, A. T. (1995). Sharpening of drifting, blurred images. *Vision Research*, **35**, 2539–2546.
- Burr, D. (1980). Motion smear. *Nature*, **284**, 164–165.
- Fu, Y. X., Shen, Y., & Dan, Y. (2001). Motion-induced perceptual extrapolation of blurred visual targets. *Journal of Neuroscience*, **21**, 1–5.
- 藤林 暁・ブン チュンセン (2008). 高品質な映像サービス実現に向けた視覚特性モデル NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル, **16**, 48–52.
(Fujibayashi, A., & Boon, C.S.)
- Hidaka, S., Kawachi, Y., & Gyoba, J. (2009). The representation of moving 3-D objects in apparent motion perception. *Attention, Perception & Psychophysics*, **71**, 1294–1304.
- 川久保惇・吉野紘平・小口孝司 (2014). 2Dと3D視聴による疲労の探索的研究 立教大学心理学研究, **56**, 1–10.
(Kawakubo, A., Yoshino, K., & Oguchi, T. (2014). Exploratory study comparing fatigue manifestation in 2D and 3D viewing. *Rikkyo Psychological Research*, **56**, 1–10.)

- Ke, M. D., Chen, C. Y., Lai, Y. Y., Tsai, T. C., & Pong, B. J. (2012). 65.4 : The Eye Fatigue Measurement for 3D Display. *In SID Symposium Digest of Technical Papers* (Vol.43, No. 1, pp.891–894). Blackwell Publishing Ltd.
- 近藤佑樹・西村泰典・石井裕剛・下田 宏・吉川 榮和 (2006). Eye-Sensing Displayを用いた眼疲労の客観的検査方法に関する研究 ヒューマンインタフェースシンポジウム, 2, **2332**, 643–648.
(Kondo, Y., Nishimura, Y., Ishii, H., Shimoda, H., & Yoshikawa, H.)
- 窪田 悟・工藤広太郎・竹本雅憲・嶋田 淳・中村芳知 (2013). 3D テレビの視聴による視覚疲労と視聴者の視機能との関係 映像情報メディア学会誌, **67**, 262–269.
(Kubota, S., Kudo, K., Takemoto, M., Shimada, A., & Nakamura, Y. (2013). Affect of visual acuity and accommodation speed on visual fatigue during movie viewing on 3D television. *The Journal of The Institute of Image Information and Television Engineers*, **67**, 262–269.)
- Kuze, J., & Ukai, K. (2008). Subjective evaluation of visual fatigue caused by motion images. *Displays*, **29**, 159–166.
- Lee, E. C., Heo, H., & Park, K. R. (2010). The comparative measurements of eyestrain caused by 2D and 3D displays. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, **56**, 1677–1683.
- Lee, J. H., & Song, J. K. (2012). Individual variation in 3D visual fatigue caused by stereoscopic images. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, **58**, 500–504.
- 森田寿哉・安藤広志 (2012). 3Dテレビ視聴による疲労における視聴条件の影響 映像情報メディア学会技術報告, **36**, 33–36.
(Morita, T., & Ando, H. (2012). Effects of viewing conditions on fatigue caused by watching 3DTV. *The Institute of Image Information and Television Engineers Technical Report*, **36**, 33–36.)
- 大野さちこ・鶴飼一彦 (2000). Head Mounted Displayをゲームに使用して生じる動揺病の自覚評価 映像情報メディア学会誌, **54**, 887–891.
(Ohno, S., & Ukai, K. (2000). Subjective Evaluation of Motion Sickness Following Game Play with Head Mounted Display. *The Journal of The Institute of Image Information and Television Engineer*, **54**, 887–891.)
- 竹内龍人 (2005). 動きによる映像の鮮明化 NTT技術ジャーナル, **17**, 50–53.
(Takeuchi, T.)
- Takeuchi, T., & De Valois, K. K. (2005). Sharpening image motion based on the spatio-temporal characteristics of human vision. *Proceedings of SPIE*, 5666.
- 矢野澄男・江本正喜・三橋哲雄 (2003). 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**, 1187–1193.
(Yano, S., Emoto, M., & Mitsuhashi, T. (2003). Two factors in visual fatigue caused from stereoscopic images. *The Journal of The Institute of Image Information and Television Engineers*, **57**, 1187–1193.)

— 2014. 9. 3 受稿, 2014. 11. 19 受理 —