

## 2D映画と3D映画視聴時における輻輳眼球運動、SSQ, CFFの分析

川村祐太<sup>\*1</sup>, 佐野啓介<sup>\*1</sup>, 小玉博也<sup>\*1\*2</sup>, 角田尚貴<sup>\*3</sup>, 渋田優輝<sup>\*3</sup>, 河内祐樹<sup>\*3</sup>,  
堀江悠介<sup>\*4</sup>, 山田光穂<sup>\*5</sup>

### Comparison of Vergence Eye Movement, SSQ and CFF while Viewing 2D Movie and 3D Movie

by

Yuta KAWAMURA<sup>\*1</sup>, Keisuke SANO<sup>\*1</sup>, Hiroya KODAMA<sup>\*1\*2</sup>, Naoki TSUNODA<sup>\*3</sup>,  
Yuki SHIBUTA<sup>\*3</sup>, Yuki KAWACHI<sup>\*3</sup>, Yusuke HORIE<sup>\*1\*4</sup> and Mitsuho YAMADA<sup>\*5</sup>

(received on September 28, 2012 & accepted on February 15, 2013)

#### Abstract

Three-dimensional (3D) movies have become very popular in movie theaters and for home viewing. To date, there has been no report of the effects of the continual vergence eye movement that occurs when viewing 3D movies from the beginning to the end. First, we analyzed the influence of viewing a 3D movie for several hours on vergence eye movement. At the same time, we investigated the influence of long viewing on the human body, using the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) and critical fusion frequency (CFF). As the result, it was suggested that the vergence stable time was influenced by the viewing time and the content of the 3D movie. Furthermore, the differences were observed in the CFF between the movie's beginning and its ending when viewing a 3D movie and a 2D movie. Also, the difference was observed in the result of SSQ.

**Keywords:** 3D movie, image sickness, vergence eye movement

**キーワード:** 3D、映像酔い、眼球運動

## 1. 背景

3D時代と称される近年、多くの映画館で3D映画が上映されており、立体映画の制作も増加してきている。家庭内で使用されるディスプレイはフレームレート数の増加や色再現性の向上など、映像表現技術の発展を背景に大型化が進んでいるだけでなく、3D対応のディスプレイが既に開発され、市場に回っている。しかし、3Dコンテンツの制作は試行状態であり、現時点では家庭内で視聴可能な3Dコンテンツが少ない。今後、3Dコンテンツの制作が活発化すると予想できるが、3D映像を鑑賞することで体調不良を起こすことや、2D映像に比べ眼精疲労になりやすいなどの問題点は無視できない。その中で、制作者や視聴者それぞれに対するガイドラインが望まれており、2D映像やHMD(Head Mounted Display)、VR空間だけではなく、近年注目を集めている3D映像における生体への影響と眼球運動や脳波、呼吸や心拍数などの自律神経系、映像撮影技法から鑑賞環境などとの関連性について多くの研究者

が調査を行なっている<sup>1)~3)</sup>。我々も既に映像作品鑑賞後に発症する頭痛に着目した客観的調査を行っており、報告している<sup>4)</sup>。

しかし、実際に3D映画を一作品全て鑑賞した時の調査を行っている例が見られない。そこで我々はこの点に着目し、心理物理的観点からの調査として既に市場で販売されている立体ディスプレイを用いて3D映画を最初から全て視聴した時の鑑賞経過時間に対する輻輳眼球運動の変化を調査している<sup>5)6)</sup>。本論文では、これらの結果をまとめるとともに、映像からの生体に対する影響の調査法としてフリッカー値 Critical Flicker Frequency (CFF)による疲労の測定と映像酔いの程度を評価する主観評価法である Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)を採用し、調査を行った結果を述べる。

## 2. 映像鑑賞による生体への影響

映像鑑賞によって体調不良を引き起こすことはよく知られている。代表例としては映像酔い・光過敏性発作等があげられる。特に映像酔いに関しては2D、3D、VR、HMDを含め、多くの研究がされている。ここでは映像から与えられる生体への影響の代表例として、映像酔いについて簡単に述べる。

映像酔いとは動きの多い映像を大画面などで視聴することで、頭痛、眼精疲労、めまい、胃の不快感、嘔吐感などの症状を起こす事である。映像酔いの症状は乗り物酔いなどの動揺病の症状と類似している。このことから動揺病のメカニズムが映像酔いに関与していると考えられている<sup>7)8)</sup>。また、一般的にダイ

\*1 工学研究科情報理工学専攻 修士課程  
Graduate schools of ENG., Master's program

\*2 現・アストロデザイン(株)  
Present, ASTRODESIGN Inc.

\*3 情報通信学部情報メディア学科  
School of Information and Telecommunication  
Engineering

\*4 現・WOWOW(株)  
Present, WOWOW Inc

\*5 情報通信学部情報メディア学科 教授  
School of Information and Telecommunication  
Engineering, Professor

ナミックな動きや手ぶれが含まれる映像から映像酔いが起きやすいと考えられており、映像もしくは網膜像と実空間感覚の不一致が原因ではないかとも考えられている<sup>7)</sup>。映像酔いの程度を評価する方法としては今回の我々の実験でも用いている Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)を用いた主観評価が多い。SSQ とは酔いの程度を『Total Score (総合; TS)』、『Nausea (気持ち悪さ; N)』、『Oculomotor (目の疲れ; O)』、『Disorientation (ふらつき感; D)』の4種類に分類して評価する尺度である。「気分はよくないか? (N,O)」、「疲労度の程度は? (O)」、「頭痛がするか? (O)」、「吐き気があるか? (N,D)」など、N・O・D に対応する16の質問項目に対して、『いいえ(0)～はい(3)』の4段階で回答してもらい、各評価点に基づいて、『TS; (N+O+D) × 3.74; N; 素点 × 9.54; O; 素点 × 7.58; D; 素点 × 13.92』の式から上記4種類(TS, N, O, D)の自覚的評価値が得られるものである。

### 3. 実験内容

実験では、実験開始当初に3D版のブルーレイとして購入可能だったものから、実写とアニメーションの違いがある可能性を考慮して、「くもりときどきミートボール」(2009)、(Phil Lord 監督, 製作会社; Sony Pictures Animation, 上映時間; 90分)と「アバター」(2009)、(James Francis Cameron 監督, 上映時間; 162分)を採用した。

被験者には視力1.0(20/20)以上の大学生7名(男3名、女4名 年齢21-23歳)に協力していただいた。また、全ての被験者においてこれらの3D作品の鑑賞経験はなかった。眼球運動の測定にはNACアイマークレコーダEMR-9を使用し、60Hzでサンプリングした。フリッカー値[CFF(臨界融合頻度)]の測定には、竹井機器工業製フリッカー値測定器Ⅱ型TKK510cを用いた。その他に関する実験パラメータをTable.1に示す。

Table.1 Experimental parameter

ディスプレイ	Panasonic TH-46VT2	
輝度	Min	Max
	0.23cd/m <sup>2</sup>	83.24cd/m <sup>2</sup>
視距離(3H)	174cm	
照度	280.5Lux	
音ピーク値	アバター	くもりときどきミートボール
	74.2dBA	68.5dBA

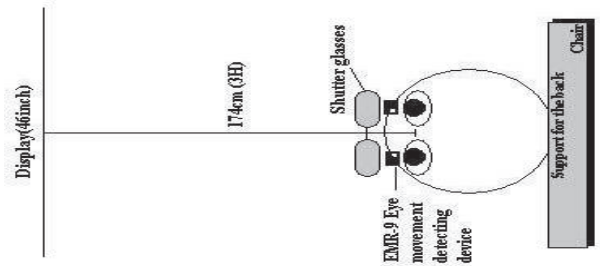


Fig.1 Experimental setup

実験は、心理・生理実験を対象として整備された本学ヒューマンインタフェース実験室内のシールドルームで行った<sup>9)</sup>。

実験前にCFFの測定を20HzからのUPと60HzからのDOWNを1セットとし、3セット行った。CFF測定後、被験者には実験用に用意した椅子に楽な姿勢で座ってもらい、眼球運動測定装置を装着した。装置と被験者の眼球の校正が終わり次第、液晶シャッターメガネを被験者の前に設置した(Fig.1)。3D映画を鑑賞する場合は、眼球運動センサの前に実験に使用した3D表示対応プラズマディスプレイPanasonic TH-46VT2用のシャッターメガネをFig.2に示すように被験者の前に設置する。本来この3Dシャッターメガネは普通のメガネのように被験者が装着するものであるが、そのままでは眼球運動センサが邪魔になって装着できない。そこで、眼球運動センサの直後に設置できるように、分解してマイクブームのアームを用いて支え、メガネのようにかけて見られる位置関係に設置した。このようにして被験者が自然に座りながら3D映像を鑑賞できるようにした。装着しているため、帽子中央に取り付けた視野画像は被験者ととも移動するため、顎台を使用していない。ただし、極端な頭部運動を行なうとマイクブームのアームに取り付けた液晶シャッターメガネから視線がずれるため、背もたれのある椅子を用いて、大きな頭部運動が生じないようにした。シャッターメガネを設置後、ディスプレイに視差量0度の固視点を画面の中心に表示し、その注視点で左右眼それぞれの眼球位置が0度となるようにオフセット調整を行った。正しく校正できていることを確認後、被験者に映画の上映時間を伝え映像再生と同時に眼球運動の測定を開始した。実験終了後にCFFを3セットとSSQを行った。

文献5)の実験では、3人の被験者に対して3Dから視聴させ、1週間以上、十分に時間を空けて2Dを視聴させた。今回の実験では、1週間以上時間を空ければ順序効果の影響を避けられることができるかを確認するために、4人の被験者に対して、2Dから実験を行い、1週間以上、十分に時間を空けて3Dの実験を行った。

## 4. 解析手順

実験では鑑賞時間全ての眼球運動データを取得したが、実験データの解析が膨大となるため、今回は映像開始直後の実験に慣れた区間と1時間程度経過した区間について、シーンが盛り上がる箇所や動きが激しいシーンを選んで分析した。すなわち映像作品開始10分後からの3分間(①)と、50分後からの3分間のデータ(②)を解析対象とした。また、「アバター」に関しては上映時間が3時間近くと長いため、上記の時間に加え、同様にシーンが盛り上がる箇所や動きが激しいシーンを選び上映開始2時間後から3分間(③)、終了13分前からの3分間(④)のデータを解析対象区間とした(Fig.2)。

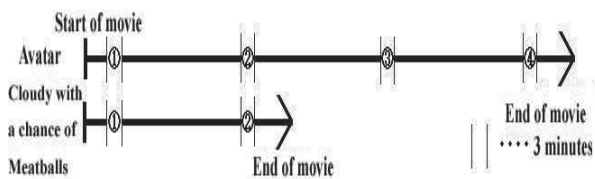


Fig.2 The analysis period covered

実験終了後、眼球運動が記録された映像を一コマずつ解析し、各被験者が視差量の等しい、同じ対象物を見ているシーンを抽出した。その後、抽出したシーンに対する輻輳角の変化に対する解析を行った。輻輳角は左眼の水平眼球回転角-右眼の水平眼球回転角として求めた。このように輻輳角は左右眼球運動の差分から求められ、本論文の実験では、頭部を背もたれ椅子に置いて見ているため、奥行き方向の頭部運動は生じないため、算出された輻輳角は被験者の奥行き方向の移動によってではなく、3D画像の視差から生じたと考えられるものである。また、ここで使用した眼球運動測定装置は0.1度程度の精度と報告されており、本論文の分析に対して十分な精度と考えている。

Fig.3を用いて輻輳角の変化量と輻輳安定時間を算出する手順を説明する。

対象物に移動する前の輻輳角(A)と対象物を見ている時の輻輳角(B)を求め、輻輳角の変化量(|A-B|)を算出し、対象物に視線移動してから輻輳が安定するまでの時間(輻輳安定時間)との関係性を鑑賞経過時間別に検討した。輻輳眼球運動が安定する時間は、注視時の固視微動の大きさを考慮し輻輳角の変動量が±0.2deg以内となる時間とした。

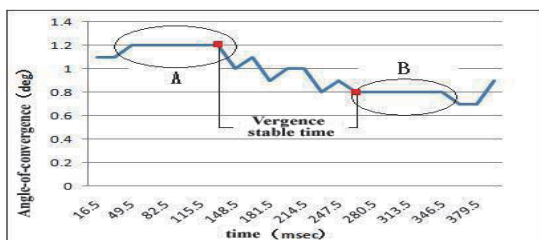


Fig3 The change of the analyzed convergence

## 5. 結果

### 5.1 輻輳変化量に対する輻輳安定時間

すべての被験者が同じ視差の対象物を見ている区間はくもりときどきミートボールでは①;25、②;35、の計60個、アバターでは①;29、②;31、③26、④;49、の計135個であった。被験者7名の実験を行ったが、瞬きが混入したり、大きな姿勢の動きが生じ、輻輳眼球運動を取得できないこともあり、解析した区間すべてで良好な輻輳眼球運動を取得できたのは4名であった。また、2Dから視聴した被験者と3Dから視聴した被験者の結果に差はなかったため、ここではその被験者4名についてまとめ輻輳角変化量に対する輻輳安定時間を平均してFig.4,5に示す。まず、Fig.4のくもりときどきミートボールの結果を見ると区間①と②の間で輻輳角に対する輻輳安定時間に大きな違いは見られない(輻輳安定時間の①平均値=1141.9msec;SD=270.4,②平均値=1122.2;SD=273.1)。次に、Fig.5のアバターの結果でも輻輳角変化量に大きな差が見られない。そこで、両作品の輻輳安定時間の各平均値を解析対象期間ごとに平均してt検定による分析を行い、Fig.6に示す。

くもりときどきミートボールでは①と②間に有意差がみられなかった。また、アバターでは①と③、①と④、②と③で有意差がみられなかった。また、アバターでは①と③、①と④、②と③で有意差がみられた。これらの結果から、輻輳安定時間が映画の鑑賞時間と内容に影響を受けていることが示唆している。

### 5.2 SSQの結果

SSQの結果をN(Nausea);気持悪さ、D(Disorientation);ふらつき感、O(Oculomotor);眼の疲れ、TS(Total Score);総合、について輻輳安定時間を分析した4名の結果を抽出しFig.7-10に示す。これら4名のSSQについても、3Dを先に見せた場合、2Dを先に見せた場合の順序効果はなく、4名の結果をまとめて示した。

まず、2Dを見せたときのSSQについて述べる。Fig.7(a)のトータルスコアの結果を見ると被験者1を除く、3名の被験者がくもりときどきミートボールに比べ、アバターの方がほぼ高い数値を示している。

Fig.7(b)の気持ち悪さでは、アバターの値がすべての被験者が低い結果となった。また、くもりときどきミートボールでは被験者2、4において数値が0だが、被験者1では、大きな数値を示した。

(c)のふらつき感では被験者1がくもりときどきミートボールで大きな値を示している。

また、(d)の眼の疲れでは被験者1を含め、すべての被験者がくもりときどきミートボールよりもアバターの方が大きな数値を示した。

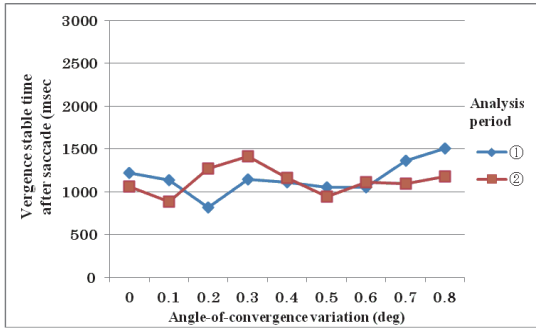


Fig.4 The stable time of vergence to the variation of vergence ( Cloudy with a chance of meatball).

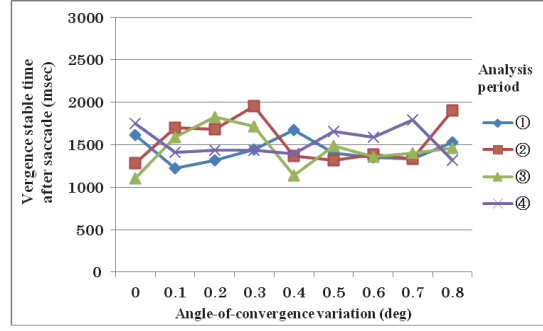


Fig.5 The stable time of vergence to the variation of vergence ( Avatar).

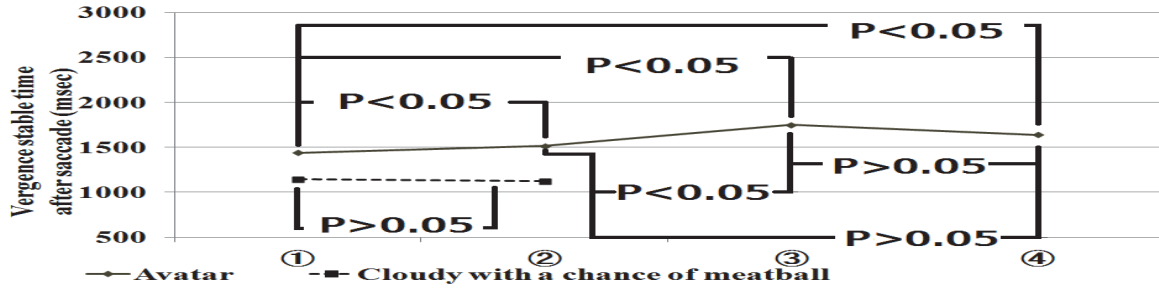


Fig.6 The stable time of vergence in relation to the viewing time

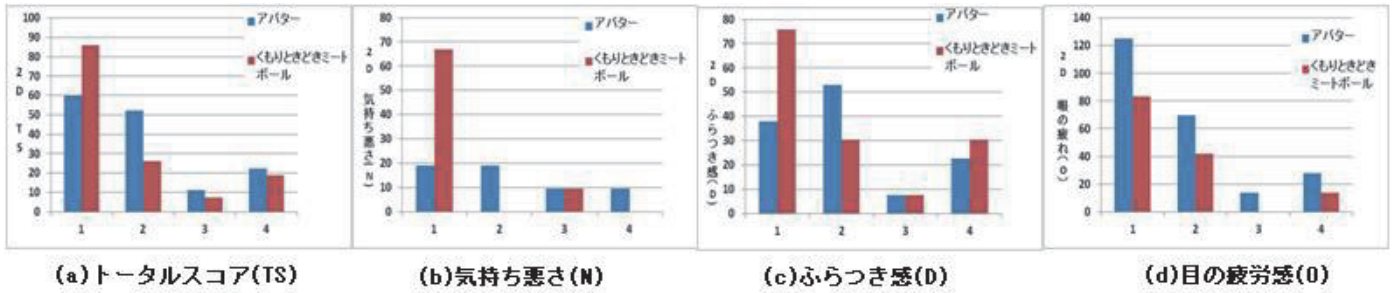


Fig.7 SSQ when 2D movie is shown

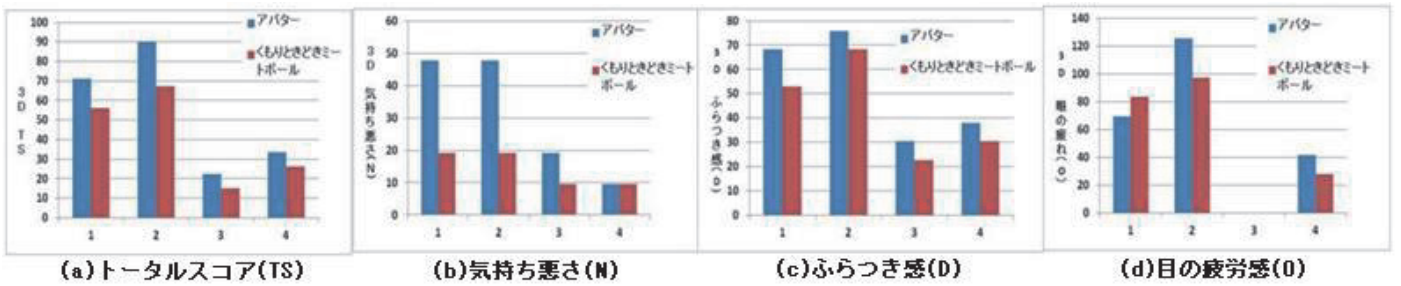


Fig.8 SSQ when 3D movie is shown

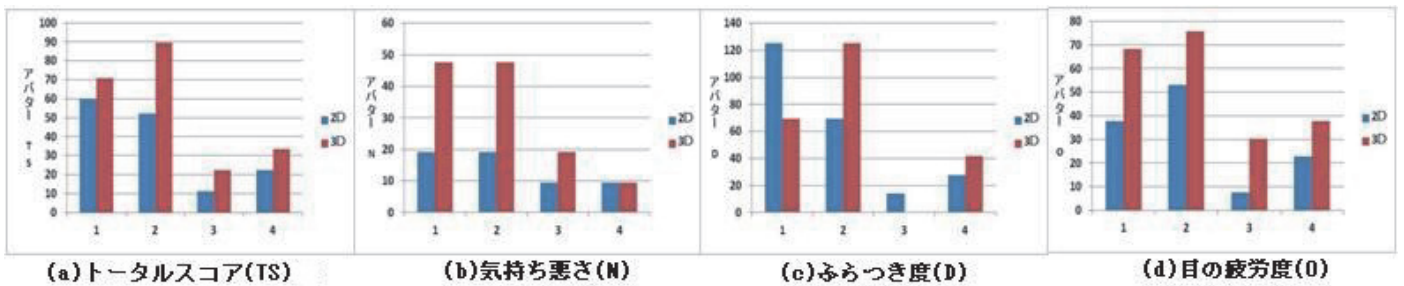


Fig.9 SSQ when Avatar :Comparison of 2D and 3D is shown

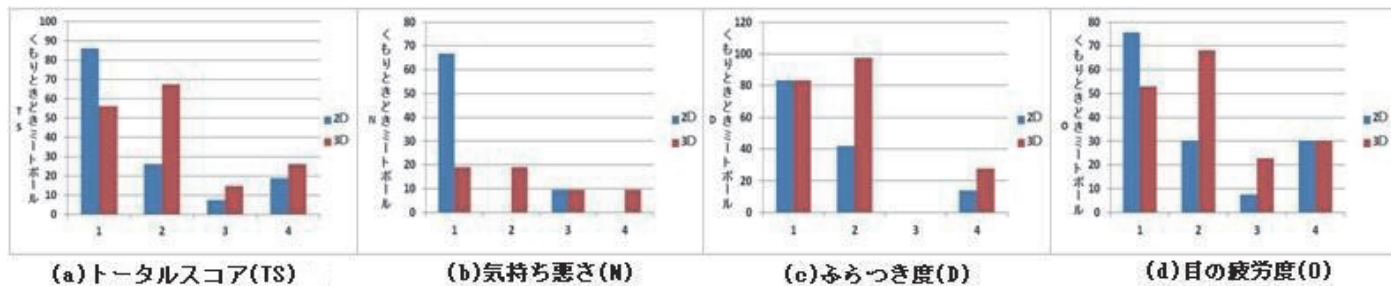


Fig.10 SSQ when Cloudy with a chance of meatball :Comparison of 2D and 3D is shown

次に Fig.8 を用いて 3D を見せたときの結果を見ると、被験者 1 の目の疲れの項目を除いて、アバターの数値が大きい結果となった。

Fig.8(a) のトータルスコアの結果を見ると、すべての被験者でアバターの方が大きい結果となった。Fig.8(b) の気持ち悪さでは、被験者 4 を除く 3 名においてアバターの方が高い結果となっている。被験者 1、2 に関してはくもりときどきミートボールに比べ、アバターで 30 近くも差が見られた。

Fig.8(c) のふらつき感では、被験者 1、2 では 70 近い数値を示しており、大きなふらつき感を感じていることを示している。

Fig.8(d) の目の疲れでは被験者 2 が 2 つの作品で大きな値となった。

次に、2D と 3D を比較する。

Fig.9(a) のアバターのトータルスコアの比較では、被験者 1、2 の 3D で大きな値を示している。また、被験者 3 では半分程度の数値となった。全体として被験者 4 人とも 3D の方が大きな値を示した。

Fig.9(b) の気持ち悪さではすべての被験者において 3D の方が大きい数値をとり、被験者 1、2 では 30 近い差が出ている。

Fig.9(c) のふらつき感では、被験者 1 と 2 で全く逆の結果となった。

Fig.9(d) の目の疲労では 4 名とも 3D の方が、大きな値となった。

次に Fig.10 を用いて、くもりときどきミートボールを見たときの 2D と 3D の結果を比較する。

Fig.10(a) のトータルスコアでは、被験者 1 の 2D の値が大きい結果となった。また、被験者 2 では逆に 2D と比べて 3D が大きな値を示した。

Fig.10(b) の気持ち悪さの比較では被験者 1 では 2D が大きい結果となったが、他の被験者は 2D、3D ともに小さい数値となった

Fig.10(c) のふらつき感の比較では、被験者 1 では 2D、3D 間の差はなく、被験者 2 と 4 では 3D の方が大きな値となった。被験者 3 では 2D、3D ともにふらつき感を感じていない。

Fig.10(d) の目の疲労では、被験者 2 と 3 で 3D の方が大きな値となった。

全体の傾向として、被験者 3 の値が他の被験者より小さい数値を示している。このことから、被験者 3 は他の被験者と比べて映像鑑賞により体調不良を起こしにくいことが分かる。被験者 1 を除く被験者に共通して、アバターの数値の方が大きくなっている。アバターはアクションシーンや心理描写の多い

全編シリアスな内容であり、くもりときどきミートボールはコミカルなアニメ映画である。これらから作品の内容や鑑賞時間の長さの違いで生体への影響の度合いに違いがでる可能性が示唆される。

トータルスコアについて、2D と 3D の結果は、被験者 1 を除きアバター、くもりときどきミートボール共に 3D の値の方が大きくなったことから、2D に比べ 3D の方が映像に酔いやすいということを示す結果となった。また、被験者 1 の 2D のくもりときどきミートボールの値が大きいことについては、この実験での評価がこの被験者にとって最初の判断だったため、他の実験と基準が異なっていた可能性がある。主観評価はばらつきが含まれる可能性があり、本来、除去すべき値かもしれないが、もう少し多くの被験者のデータを見て、このデータの取捨選択については、再検討すべきと考えている。

### 5.3 CFF の結果

実験前に取得したデータと、実験後に取得したデータを示す (Fig.11-16)。

Fig.11 の 2D のアバター、Fig.12 の 2D のくもりときどきミートボールの結果では被験者 4 を除き、実験後の CFF に減少の傾向が見られた。

Fig.13 の 3D のアバターでは被験者 2 を除く、3 名の被験者で実験後に CFF の減少の傾向が見られた。

Fig.14 の 3D のくもりときどきミートボールの結果では被験者 1、2 で実験後に CFF が増加し、被験者 3、4 では低下した。

Fig.15,16 にそれぞれの映画を見せたときの、鑑賞前後の CFF の変化を示す。負値は実験後に CFF が減少したことを示している。Fig.15 のアバターでは、被験者 2 を除き、2D と 3D いずれも被験者ごとに上昇もしくは減少の同一の傾向が見られた Fig.17 のくもりときどきミートボールでは、2D と 3D に対して一定の傾向は見られなかった。

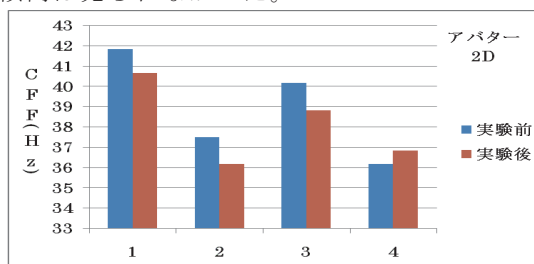


Fig.11 Results of CFF (Avatar:2D)

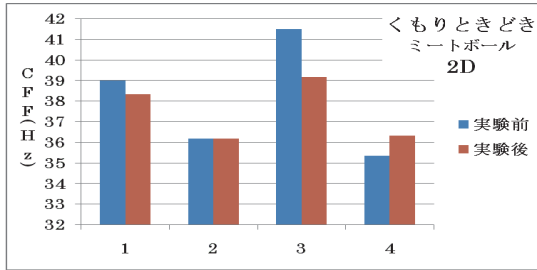


Fig.12 Results of CFF (Cloudy with a chance of meatball:2D)

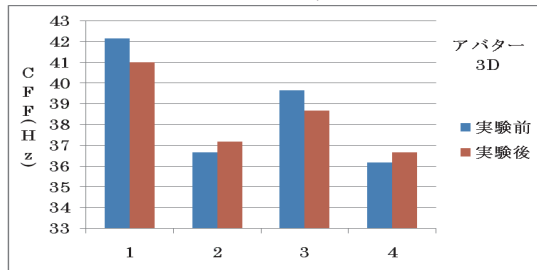


Fig.13 Results of CFF (Avatar:3D)

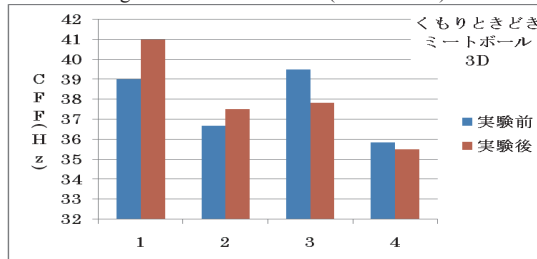


Fig.14 Results of CFF (Cloudy with a chance of meatball:3D)

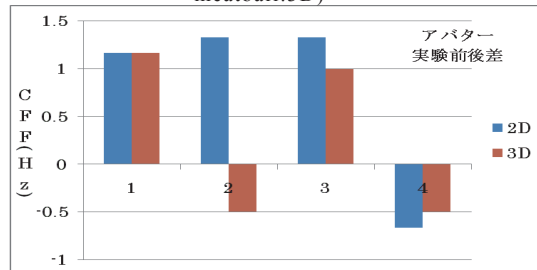


Fig.15 Results of CFF (Avatar: Comparison of 2D and 3D)

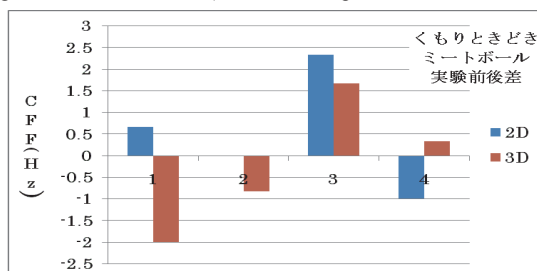


Fig.16 Results of CFF (Cloudy with a chance of meatball: Comparison of 2D and 3D)

## 6. まとめ

3Dの映画を1作品鑑賞した時の鑑賞経過時間に対する輻輳安定時間について比較した。

その結果、3D映画を一作品鑑賞した時の輻輳安定時間は、t検定の結果から鑑賞時間と映画の内容によって影響が出る可能性があることを示した。

また、SSQの結果から鑑賞時間の長いアバター

の方が映像酔いになりやすいこと、CFF値の結果からは、2Dより3D鑑賞後に疲労するという可能性よりも映画鑑賞の影響や個人差が大きい可能性が示された。

2Dと3Dの比較では、3Dを先に見せた場合、2Dを先に見せた場合に、今回の実験条件では順序効果はなく、2Dよりも3Dの方が映像酔いが起きやすいことが示唆された。

CFFの結果からは、2D、3Dいずれも映像鑑賞後のCFFが低下する傾向が見られたが、同じ映画の2Dと3Dの比較では一定の傾向は示されなかった。必ずしも、3Dを鑑賞することによってのみ、CFFが低下するわけではないことを示している。

今後はシーン間の輻輳量の変化だけでなく、輻輳量のダイナミックな動画像の動きにも着目して解析・実験を行う必要があると考える。また、被験者も今回の実験は21~23歳の被験者で行ったため、年齢の影響も考慮し、幅広い被験者層が必要であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 吉澤誠, 3次元映像の生体への影響: 循環器機能への影響, VISION Vol.12, no.1, 15-23, 2000
- 2) 鶴飼一彦, 3次元映像の生体への影響: 視覚機能への影響, VISION Vol.12, no.1, 5-14, 2000
- 3) 坂東武彦, 3次元映像の生体への影響: 総合評価, VISION Vol.12, no.1, 25-30, 2000
- 4) 堀江悠介, 川村祐太, 伏見太輔, 山田光穂 映像作品によって生じる頭痛の種類と要因の調査, 日本視覚学会2011冬季大会, p.18
- 5) Yuta KAWAMURA, Yusuke HORIE, Keisuke SANO, Hiroya KODAMA, Naoki TSUNODA, Yuki SHIBUTA, Yuki KAWACHI, Mitsuho YAMADA, "THE INFLUENCE ON HUMANS OF LONG HOURS OF IEWING 3D MOVIES" IMQA2011, October4-5, 2011 p.11
- 6) Yuta KAWAMURA, Yusuke HORIE, Keisuke SANO, Hiroya KODAMA, Naoki TSUNODA, Yuki SHIBUTA, Yuki KAWACHI, Mitsuho YAMADA, "THE INFLUENCE ON HUMANS OF LONG HOURS OF IEWING 3D MOVIES" IEICE TRANS.FUNDAMENTALS, VOL.E95-A, NO.8 AUGUST2012
- 7) 氏家 弘裕, 映像酔い, 映像情報メディア学会誌 Vol.61, No.8, pp.1122-1124(2007) 知っておきたいキーワード
- 8) 独立行政法人産業技術総合研究所, -TVゲームやアニメ、映画などの映像を安全に楽しめる国際規格, URL: [http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2003/pr20031218/pr20031218.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2003/pr20031218/pr20031218.html)
- 9) 山田光穂, ヒューマンインタフェース実験室とインタフェースデザイン・同演習, 東海大学情報通信学部紀要2011年1号