

3D映画に付加された字幕の眼球運動特性

小玉 博也^{*1,2}, 佐野 啓介^{*1}, 堀江 悠介^{*1,3}, 角田 尚貴^{*1}, 渋谷 優輝^{*1}, 河内 祐樹^{*1},
山田 光穂^{*4}

The Eye Movement Characteristic of the Captions Added to the 3D Movie

by

Hiroya KODAMA^{*1,2}, Keisuke SANO^{*1}, Yusuke HORIE^{*1,3}, Naoki TSUNODA^{*1}, Yuki SHIBUTA^{*1}, Yuki KAWACHI^{*1} and Mitsuho YAMADA^{*4}

(received on September 28, 2012 & accepted on February 7, 2013)

Abstract

Recent years, because the number of 3D movies increases and 3D compatible displays become available at the appropriate price, a 3D movie is familiar and can be easily appreciated. On the other hand, if we appreciate the 3D movie with the captions, there is the possibility that the eye movement characteristic when reading the 3D captions may be different from that when reading 2D one, since the caption of a 3D movie has parallax. Therefore, we investigated about the eye movement characteristic for the caption work of 2D and 3D and compared it between them.

Keywords: Vergence, Eye movement, 3D

キーワード: 輻輳、眼球運動、3D

1. 背景

1.1 まえがき

近年、3D映画の制作数が増えたことから多くの映画館で3D作品が上映されており、3D映画が身近で鑑賞できるようになってきている。家庭内の据え置き型ディスプレイもフレームレート数の増加や色再現性の向上といった映像表現技術の発展を背景とし、大型化が進んでいる。それに加え、3D対応のディスプレイが開発され、既に国内外の市場に出回っている。しかし、家庭内で視聴可能な3Dコンテンツが少なく、3Dコンテンツの制作は試行状態である。今後、3Dコンテンツの制作が活発化していくと予測されるが、その中で、映像鑑賞により生じる体調不良や、2D映像の鑑賞時に比べ疲労を感じやすい等の問題点の改善が必須であると考えられる。その中で、制作者や視聴者などに対するガイドラインが望まれており、3D映像を含めた幅広い臨場感の高い映像における生体への影響について、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、様々な関連性を考慮し、多くの研究者によって調査が行なわれている^{1)~3)}。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⁴⁾。2D映像作品の鑑賞における眼球運動の分析は既に向後らによって行われている⁵⁾が、3D字

幕作品鑑賞時の眼球運動特性は調査されていない。このことから、市場で販売されている立体ディスプレイと3D字幕映画を用いて、3D字幕作品を鑑賞した時の眼球運動の調査を行い、向後らの2D映像鑑賞時の眼球運動の結果と比較し、2D字幕と3D字幕を読む際にかかる時間の調査を行い報告している⁶⁾。しかし、向後らの結果との比較では、コンテンツが異なり、論文発表当時の実験データの入手も困難で有り、統計的な比較ができない。そこで、同じコンテンツの2D版と3D版を用いて新たに実験を行い、2D字幕作品と3D字幕作品鑑賞時の眼球運動の違いを分析し統計的に検討した。

1.2 字幕映像鑑賞時における眼球運動

静止画と2D映像に付加された字幕の読みに関する眼球運動の調査は中山らによって既に行われており、静止画と動画像に同じ長さの字幕を付加した場合、動画像の方が文章を読み切る時間が長くなることを示している⁷⁾。また、向後らは映画字幕を自然な状態で読んだ時の読み行動における、字幕の文字数と行数に対する読みの変化を調査している。今回我々の実験では向後らが提案した字幕鑑賞時の眼球運動パターンを参考に3D字幕映画と2D字幕映画の字幕を読んでいる際の眼球運動を解析した。向後らは字幕を読む際の眼球運動パターンとして視線は以下のステップをたどるとしている(Fig.1;⁵⁾引用)。(1)反応時間；字幕が表示されてから画面下部に視線を移す、(2)先頭移動時間；字幕の先頭に視線を移す、(3)1行目の読み時間、(4)改行時間；2行目の先頭に視線を移す、(5)；2行目の読み時間。我々もこのステップに従い眼球運動の解析を行った。文字数が

*1 工学研究科 修士課程

School of Engineering, Master's Program

*2 現 アストロデザイン(株)

Present, ASTRODESIGN Corporation

*3 現 株式会社 WOWOW

Present, WOWOW Inc.

*4 情報通信学部情報メディア学科 教授

School of Information and Telecommunication Engineering, Professor

3文字や4文字と少ない場合や字幕表示前に字幕先頭付近に視線が合った場合などで、反応時間と共に字幕の先頭に移動するケースが多くみられた。この場合は先頭移動時間をカウントせず反応時間として解析を行った。さらに、我々は眼球運動の移動時間のみでなく、輻輳眼球運動に着目した輻輳角の変化についても検討を行った。

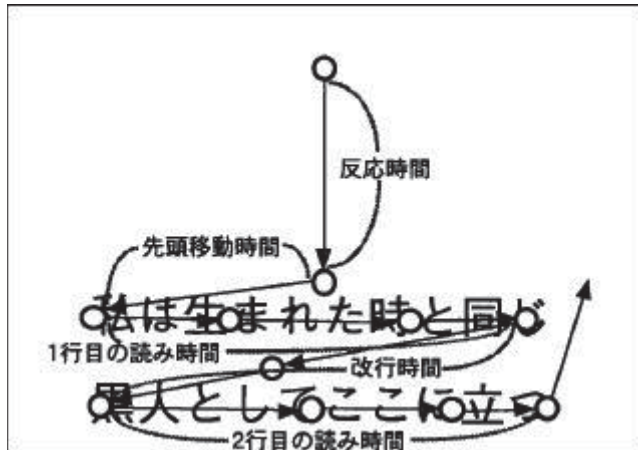


Fig.1 Line of sight displacement when reading captions ⁵⁾

1.3 向後らの2D映像字幕の実験結果と我々の3D映像字幕の実験結果の比較 ⁶⁾

向後らの実験結果と、我々の予備実験結果を比較したものを Table1 に示す。

Table 1 Comparison of Kogo's result of 2D captions and our result of 3D captions

	2D 字幕(msec)5)	3D 字幕(msec)
反応時間	293.4(SD=155.3)	369.0(SD=54.5)
先頭移動時間	104.0(SD=91.3)	192.5(SD=41.4)
改行時間	116.8(SD=48.6)	85.8(SD=17.6)
読み速度	121.1(SD=48.6)	90.1(SD=16.6)

この結果から、反応時間、先頭移動時間で3D字幕映画の方が大きい数値を示した。なお、向後らがあらかじめ字幕画面を編集したことを考慮し、ここでの反応時間は字幕間の表示間隔が1秒以上あったものを用いた。この結果は、字幕や映像に視差が付いたことで、輻輳角の変化も必要となり眼球運動の動き時間に影響したためと考えられる。改行時間と読み時間に関しては、今回の3Dの方が短い。先行研究で用いた映画は実験者が字幕部分を編集しているので、直接比較できないが、今回用いた映画が出演者の台詞が多く表示される字幕数が非常に多い映画であったため、早く読む必要があったと考えられ、コンテンツの違いが影響したと考えている。また、映画も被験者も異なるため、統計的な検討も行えない。そこで、2Dについても3Dと同じコンテンツを用いて新たに実験を行った。

2. 実験素材・パラメータ

実験では「クリスマスキャロル」(2009) (Robert Zemeckis 監督, 製作会社: ImageMovers Digital, 上映時間: 97分) の2D版と3D版を採用した。被験者には視力1.0(20/20)以上の大学生7名(男性4名, 女性3名: 21~23歳)に協力していただいた。実験パラメータを Table2 に示す。

Table 2 Experimental parameters

ディスプレイ	Panasonic TH-46VT2	
画角	16:9	
解像度	1920×1080	
ディスプレイ輝度	Min	Max
	0.23 cd/m ²	83.24 cd/m ²
視距離	174cm (3H)	
照度	280.5 Lux	
音ピーク値	69.4 dBA	

3. 実験手順

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する。眼球運動の測定には、ナックイメーシングテクノロジー社 E MR-9 を用いた。この装置は、野球帽型の帽子に、自由に方向調整できる自在アームとりつけ、この自在アームに眼球運動センサを構成する被験者の眼球を撮影する赤外カメラと眼球を照射する赤外LEDをとりつけたものである。被験者にこの帽子をかぶってもらい、まず赤外LEDの角膜反射光が赤外カメラによって良好に取得できるように、上述した自在アームの方向を調整する。この調整が終わると、赤外カメラによって撮影された角膜反射点の位置と実際に被験者が注視した位置を一致させるための作業である一般的に校正と言われている作業を行なう。校正では、あらかじめ決めた田の字状の9点を被験者に順に注視させ、そのときの角膜反射点の位置と校正のために表示された9点の座標から角膜反射点の座標と眼球位置(視線方向)を対応させる演算を行なう。この校正が終了すると、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様に、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。なお、本実験では、眼球運動センサを被験者の被る帽子に装着しているため、帽子中央に取り付けた視野画像は被験者とともに移動するため、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、ディスプレイに左右眼の視差量が0度となるような固視点を画面の中心に表示し、被験者に注視させた。一般に眼球運動の測定では、あらかじめ決めた固視点を注視させ、その点を注視しているときの眼球角度を基準として、改めて0度にすることが多い。この調整はオフセット調整といわれている。我々の実験では、画面中央の固視点注視時に、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。その結果、輻輳角を「左眼の眼球水平回転角-右眼の眼球水平回転角」と定義するとスクリーン面上を注視しているときには輻輳角は0度となり、画面前方の注視では正の値を後方の注視では負の値を示す。ディスプレイ面上の各隅と中央の9点を指示棒で示し、これを順に注視させて、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。実験中は被験者の気が散らないことを考慮し、同室に実験者1名のみを残している。また、被験者には同じコンテンツ内容の2D映画と3D映画を視聴してもらうため、鑑賞順序が実験結果に影響を与えないため、十分に日にちを空け、被験者のうち3名は2D映画から、残り4名は3D映画から鑑賞してもらうこととした。

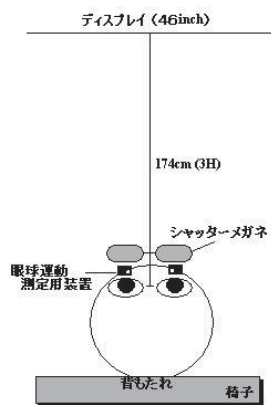


Fig.2 Experimental set up

4. 解析手順

4.1 解析区間の抽出

Fig.3 は映画に表示される字幕数を5分間隔で取得したものである。この図からわかるように字幕数が膨大なため、我々はこの結果をもとに映画の序盤、中盤、終盤の3箇所字幕数が20以上ある区間を選択し、無作為に選択し解析に用いた。今回用いた作品に含まれる字幕数は、3文字から21文字で①；61、②；24③；63の計148個得られた。Fig.4は①の区間で字幕が表示された際の映像の視差量と字幕の視差量を比較したものである。このグラフから字幕の視差量は常に映像と同じあるいは映像より前に表

示されるように工夫されており、一定ではなかった。

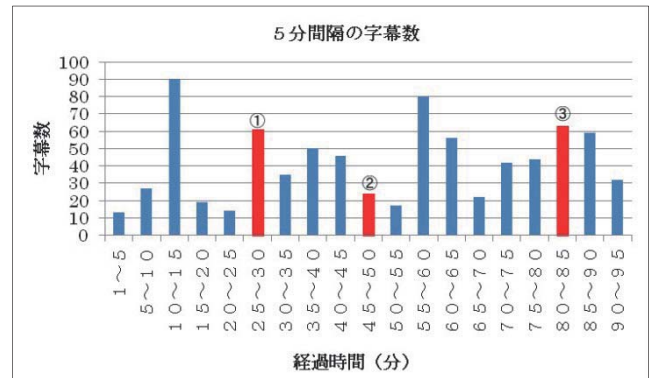


Fig.3 The number of captions in a 5-minute interval.

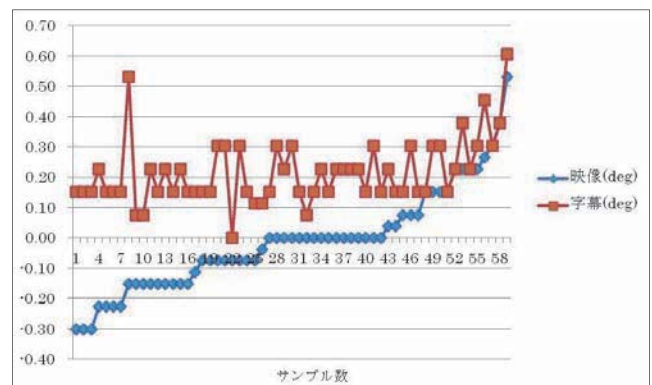


Fig.4 The parallax angle of the image and the caption

4.2 解析手順

Fig.5に示すように、まず、字幕の表示が開始され、映像から字幕へ移動するサッカードが開始し、サッカードが終了して輻輳眼球運動が開始される点を決定しこの間をCとし、Aは字幕を見る前の輻輳角の平均値とし、Bは字幕に対する輻輳眼球運動が安定した時点での輻輳角とした。輻輳眼球運動の安定の判定は、すべての字幕に対する輻輳眼球運動を分析し、注視時の固視微動の大きさを考慮して輻輳角の変化範囲が±0.2deg以内に収まったときとした。輻輳安定時間は、上述の定義に従い、字幕表示開始から輻輳眼球運動が安定するまでの時間とした。実験に使用した眼球運動測定装置(EMR-9)は被験者の左右の眼のX、Y値を角度(deg)で出力するため、 $Lx - Rx$ によって輻輳角を算出した。その後、眼球運動測定装置によって取得した眼球運動付き動画を、動画再生ソフトを用いて解析対象区間をコマ送りで映像を観察し、動画から見てとれる以下の基本情報をエクセルデータから抽出した。なお、字幕の文字数について「!」や「?」は1文字とし、「“」はカウントしなかった。

(1)字幕表示時間

(2)字幕数 (行数・文字数)

(3)反応時間・先頭移動時間・1行目の読み時間・改行時間・2行目の読み時間・1文字の読み時間(全体

の読み時間/文字数)

(4) 字幕表示時の輻輳角変化 (例; Fig. 5)

上述した情報を抽出後, (4)で求めたグラフから字幕を見る前に見ていた映像鑑賞時の輻輳角(B)と字幕を見ている時の輻輳角(A)を求め, 輻輳角の変化量(|B-A|;(S))を算出し, 字幕表示開始から輻輳が安定するまでの時間; 輻輳安定時間(C)を求めた。

なお, 2D字幕から始めた結果と3D字幕から始めた結果に大きな差は無く, 以下, これらの結果をまとめて分析した。

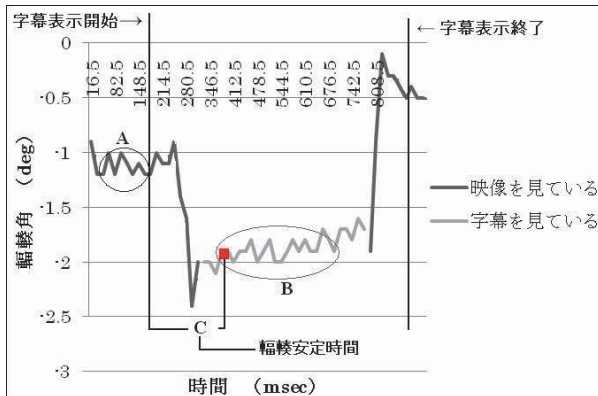


Fig.5 Change of convergence angle when a caption was displayed.

4. 3D字幕の解析結果

5.1 輻輳角変化量と輻輳安定時間

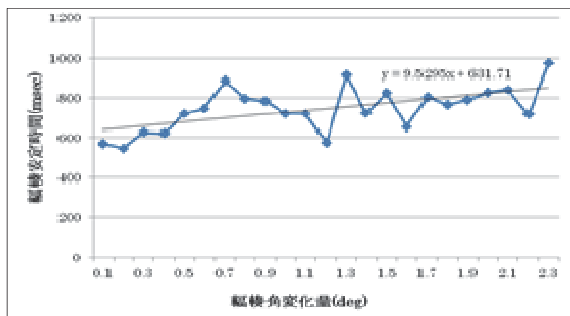


Fig.6 The stable time of vergence to the convergence angle variation.

被験者全員の平均値による輻輳角変化量に対する輻輳安定時間の変化を Fig. 6 に記す。輻輳角変化量 0.7~1.1 で若干の減少が見られるが, 全体的に輻輳角変化量の増加とともに輻輳安定時間が増加する傾向が回帰分析からも確認できる ($y=9.5295x+631.71$; ($p=0.0126<0.05$)). この結果から映像と字幕の視差量の差が増加するにつれ, 輻輳安定時間が増加する傾向が示された。

5.2 文字数における輻輳角変化量

被験者全員の平均値による文字数変化に対する輻輳安定時間の変化を1行・2行で分けて Fig. 7, 8 に記す。1行字幕では文字数が増加とともに輻輳安定

時間も増加する傾向が回帰分析からも確認できた ($y=64.913x+271.73$; ($p=5.65E-05<0.05$)). 特に 3~9 文字の区間では緩やかに増加しているが, 9 文字から 10 文字になる際に 200msec 以上増加しているのが見てとれる。2行字幕では文字数が増加しても輻輳安定時間が増加するような傾向は回帰分析からも確認できなかった。 ($y=7.2654x+869.92$; ($p=0.5962>0.05$)). ここで1行と2行で同数の文字数である 11~13 文字を対象に1行, 2行で輻輳安定時間の比較を行ったところ, 1行 (966.6msec; SD=209.3), 2行 (915.3msec; SD=168.3)となり1行の方が大きい値を示したが, これに対して t 検定をおこなったところ, ($p=0.757>0.05$)となり有意差は得られなかった。このことから, 同じ文字数では行数の違いは輻輳安定時間に影響しないことが示された。よって 3~10 文字までは輻輳安定時間は増加し, 11 文字以上になると1行2行に関わらず, 統計的な有意差が得られるほど変化しないことが示された。

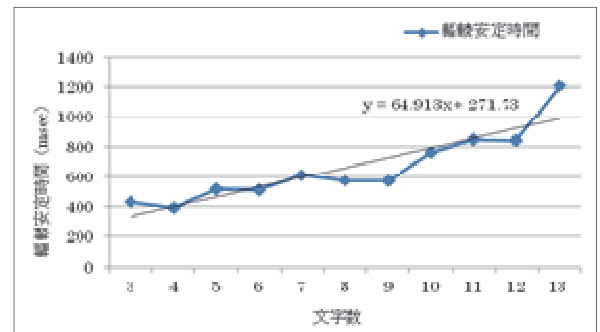


Fig.7 The stable time of vergence to the number of characters variation (1 line)

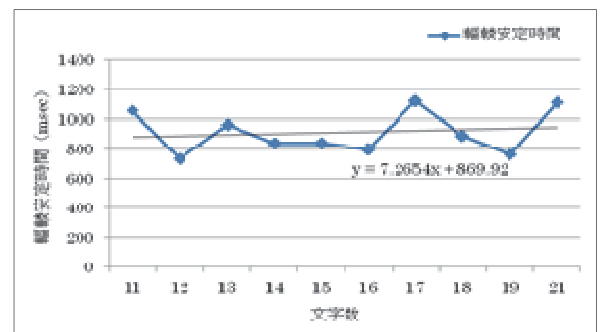


Fig.8 The stable time of vergence to the number of characters variation (2 line).

5.3 文字字数における各所要時間

被験者全員の平均値による各所要時間を文字数で分類したものを1行・2行に分けて Fig. 9, 10 に記す。1行では, 1行目の読み時間は文字数の増加にともない増加しているが, 反応時間, 先頭移動時間, 1文字あたりの読み時間は文字数が増加しても変化しない結果となった。2行においても1行目, 2行目の読み時間が文字数の増加にともない増加しているが, 反応時間, 先頭移動時間, 改行時間, 1文字あたりの読み時間は変化しない結果となった。

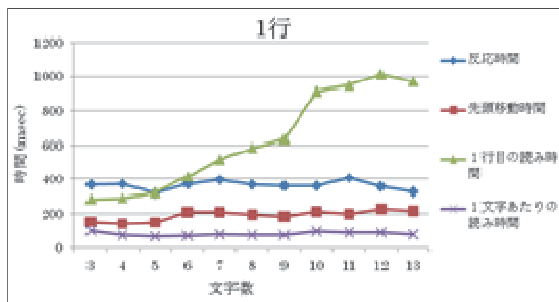


Fig.9 Various eye movement's parameters to the number of characters in the caption (1 line)

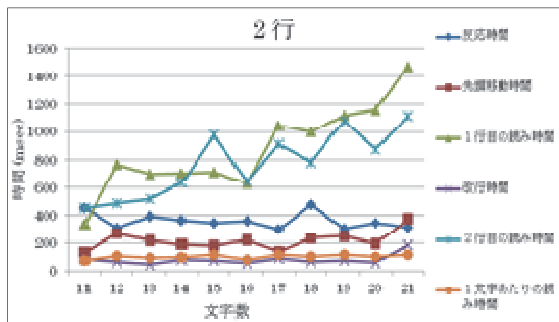


Fig.10 Various eye movement's parameters to the number of characters in the caption (2 line)

5.4 1行・2行の各所要時間の比較

被験者全員の平均値による各所要時間の比較を1行と2行で比較したものをFig. 11に記す。

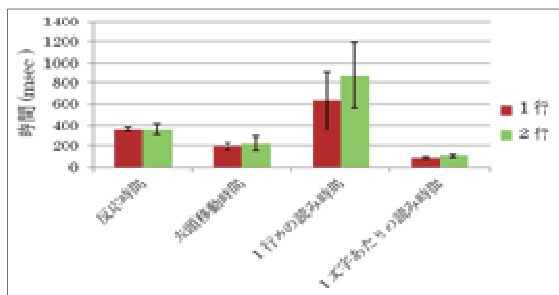


Fig.11 Comparison of one line and two lines caption

各時間に対して t 検定をおこなったところ、1文字あたりの読み時間のみ危険率5%で有意差が得られた（1行：79.4msec;SD=9.2, 2行：99.8msec;SD=15.3,($p=0.001<0.05$)）。この結果から1文字あたりの読み時間は1行より2行の方が時間がかかり、その他の項目については1行、2行で差はないという結果が示された。

6. 2D字幕と3D字幕の比較解析結果

6.1 各読み時間の比較

被験者の平均値による各読み時間を1行・2行で分類し2Dと3Dで比較したものをFig12, 13に記す。
1行での各項目に対して t 検定をおこなったとこ

ろ、反応時間 ($p=0.004<0.05$)、先頭移動時間 ($p=0.012<0.05$)、1文字あたりの読み時間 ($p=0.001<0.05$)について危険率5%で有意差が得られた。このことから、1行字幕では反応時間、先頭移動時間は2Dより3Dの方が時間がかかり、1文字あたりの読み時間は3Dより2Dの方が時間がかかるという結果となった。

次に2行での各項目に対しても t 検定をおこなったところ、改行時間のみ危険率5%で有意差が得られた ($p=0.049<0.05$)。このことから、改行時間は2Dより3Dの方が時間がかかり、他の項目については2Dと3Dで差はないという結果となった。

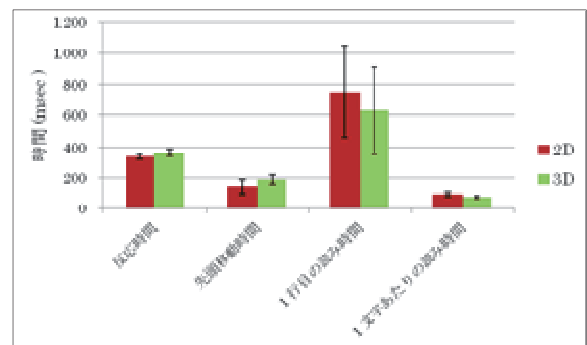


Fig.12 Comparison of 2D and 3D caption (1 line)

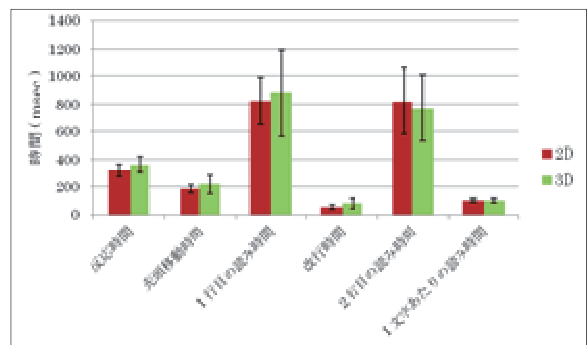


Fig.13 Comparison of 2D and 3D caption (2 line)

6.1 各読み時間の比較

2D字幕と3D字幕の総合読み時間（反応時間から2行目を読み終わるまでの時間の合計時間）に違いについて解析を行った結果をFig. 14, 15に記す。また、字幕提示時間のうち、どれほどの時間を読み終わるまでに費やしているのかを調べるために2D, 3Dそれぞれ字幕提示時間と総合読み時間の割合を求めた。

1行・2行で分類して分析したところ、総合読み時間、割合ともに2Dと3Dでの違いは見られなかった。2D, 3Dの割合に対して t 検定を行ったところ、1行字幕： $p=0.4>0.05$, 2行字幕： $p=0.18>0.05$ より、どちらも危険率5%で有意差は得られなかった。このことから、字幕を読むためにかかる時間は2Dも3Dも同じであるという結果となった。

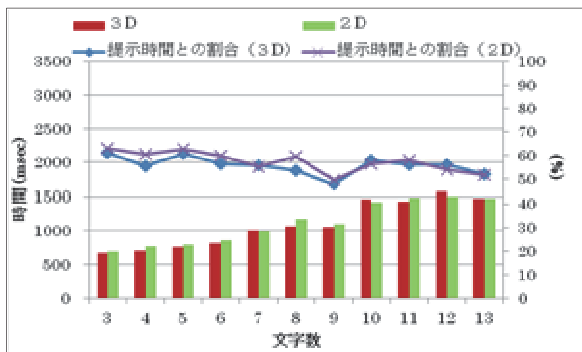


Fig.14 Comparison of the total reading time (1 line)

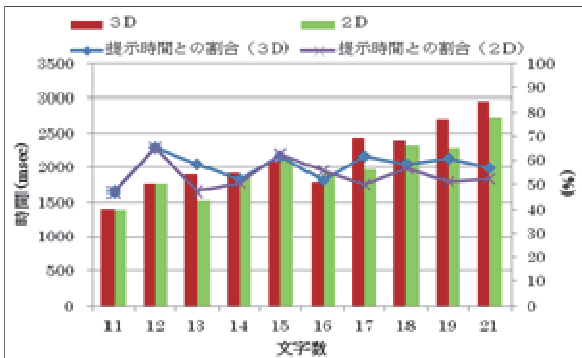


Fig.15 Comparison of the total reading time (2 line)

また、ここで3D字幕について総合読み時間に対する輻輳安定時間の割合を求め、総合読み時間のうちにどれだけ輻輳安定時間に費やしているかを解析した。

Table3, 4に輻輳安定時間を文字数で分類し、その文字数の総合読み時間で割ることで比率を求め、1行・2行で分類した結果を記す。

1行での輻輳安定時間の割合は約58%、2行字幕での輻輳安定時間の割合は約41%となった。ここで1行字幕と2行字幕の割合に対してt検定を行ったところ、 $p=6.323E-06<0.05$ より危険率5%で有意差が得られた。このことから1行字幕の方が、総合読み時間のうち多くの時間を輻輳安定に費やしていることが示された。

Table 3 Ratio of the total reading time and the stable time of vergence (1 line)

1行				
文字数	輻輳安定時間[msec]	総合読み時間[msec]	割合[%]	
3	492	872	64	
4	395	709	56	
5	516	766	67	
6	513	812	63	
7	610	1007	61	
8	573	1060	54	
9	570	1052	54	
10	766	1469	52	
11	848	1438	59	
12	843	1568	54	
	割合平均		58	

Table 4 Ratio of the total reading time and the stable time of vergence (2 line)

2行				
文字数	輻輳安定時間[msec]	総合読み時間[msec]	割合[%]	
2	729	1751	42	
3	961	1831	51	
4	835	1929	44	
5	836	2075	40	
6	796	1777	45	
7	1124	2426	46	
8	888	2334	37	
9	763	2638	28	
11	1112	2931	38	
	割合平均		41	

7. まとめ

輻輳安定時間においては輻輳角変化量の増加だけでなく、文字数の増加にも影響を受けること。3~9文字までは文字数の増加にともない、輻輳安定時間が緩やかに増加するが、10文字以上になると大きく増加し、その後一定になる傾向がある。

1行字幕においては、文字数が増加しても反応時間、先頭移動時間、1文字あたりの読み時間は変化しない。2D字幕と3D字幕の比較では反応時間、先頭移動時間は2D字幕よりも3D字幕の方が遅くなり、1文字あたりの読み時間は2D字幕の方が遅くなる傾向がある。また、総合読み時間のうち58%を輻輳安定時間に費やしている。

2行字幕においては、文字数が増加しても反応時間、先頭移動時間は変化しない。1行字幕との比較では、1文字あたりの読み時間は1行よりも遅くなる傾向がある。2D字幕と3D字幕の比較では、反応時間、先頭移動時間、1文字あたりの読み時間には違いは見られないが、改行時間は3D字幕の方が遅くなる傾向がある。また、総合読み時間のうち41%を輻輳安定時間に費やしている。また、今回の同じコンテンツを用いて分析した2D字幕と3D字幕の各所要時間を表1の向後らの結果と比較すると、反応時間、先頭移動時間、1文字あたりの読み時間においては表1と同じ傾向を示し、2D字幕より3D字幕のそれぞれの時間が長いという結果を示した。しかし、改行時間においては、表1に比べFig.13から3D字幕の方が遅くなるという結果を示した。今回の報告では、2D字幕と3D字幕で同じコンテンツと被験者を用いており、2D字幕と3D字幕について、統計的な検証も行うことができ、各読み時間の比較をより正確に行えたと考えている。

1行字幕の結果で、1文字あたりの読み時間は3D字幕の方が速くなったことについては、3D字幕では反応時間、先頭移動時間に2D字幕より時間を要し、字幕を読む速度を速くする必要があったのではと推察している。また、2行字幕の結果で、2行字幕の方が1文字あたりの読み時間が遅くなっているのは、2行字幕では改行を行う必要があるため、

2行目でまた幅輾の調節を行う必要が生じたことが要因ではないかと考えている。これらについてはより詳細な解析を行っていく必要があると考えられる。

8. 今後の展開

ここでは、「クリスマスキャロル」を題材として2D字幕と3D字幕を比較した。この映画は全編CGで構成されているため、今後は実写映画のサンプルも取得し、実写映画との違いも検討していく必要があると考えている。また、字幕映像作品によっては画面右側に字幕を表示したり、一定の箇所ではなく、会話している人物の近くに表示したりするものもあるので、これらのようなサンプルも取得して3D映像に適した字幕表示位置なども検討していきたいと考えている。そして被験者についても21～23歳と比較的若かったため、年齢の影響も考慮して幅広い被験者層が必要であると考えている。

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) 鵜飼一彦, 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) 向後千春, 字幕映画の視聴における眼球運動の分析: 日本教育工学雑誌, Vol.20, No.3
- 6) Hiroya Kodama et.al "The Investigation of Eye Movement Characteristics in the Case of 3D Image Viewing with Captions", IMQA2011 p.11, 2011
- 7) 中山実, 動画と静止画における文字スーパーへの視点移動の違い: テレビジョン学会誌, Vol.42, No.8(1988)
- 8) R.H.S. Carpenter: Eye Movements, Vision and Visual Dysfunction Vol.8, MACMILLAN PRESS(1991)
- 9) 荻阪良二他: 眼球運動の実験心理学, 名古屋大学出版会(1993)