

VRと実写映像合成時の主観評価に関する 輻輳角の条件の検討

藤木 卓*・津村 英幸**・寺嶋 浩介*

*長崎大学教育学部

**㈱インフォテクノ朝日

Consideration on Conditions of Convergence Angle about Subjective
Evaluation of Mixed Videos between VR and Live Action

Takashi FUJIKI, Hideyuki TSUMURA, Kosuke TERASHIMA

*Faculty of Education, Nagasaki University

**Info Techno Asahi

(Received October 31, 2011)

Abstract

In this study, subjective evaluations of binocular visions with a mixed videos between a VR (Virtual Reality) and a live action were considered. In order to this evaluations, an angle of convergence of VR was fixed, on the other hand the angle of convergences of live action were changed, visualizations of the mixed videos were evaluated through the subjective experiments. As the result, the followings were made clear.

A tolerance of the convergence angle existed in spite of a convergence distance was changed, the convergence angles from $\pm 1.22^\circ$ (convergence distance: 1m) to $\pm 1.73^\circ$ (convergence distance: 2.5m) were conditions. The subjective evaluations of the visualizations of the mixed videos indicated best score as the convergence distance was 2m. The evaluation of the sense of embossing indicated similar patterns to Tyler's study.

1. はじめに

3Dの映画やテレビに牽引される形で、人工的に作られた現実感が広がりを見せている。主に、映像に関する人工現実感として知られ、偏光メガネを装着して見るのが、映画「アバター」(AVATAR2009)に代表される視覚系のVR(Virtual Reality)である。この視覚系VR(以下、VRと言う語は、特に断りの無い場合は視覚系のVRを指すものとする)の教育利用については、森田らの持ち運び可能なVR装置の効果的な活用に関する研究(森田ら2005)や、U字形状のスクリーンを用いた月の満ち欠け等の天体学習に関する瀬戸崎らの研究(瀬戸崎ら2006)が行われている。

ところで、テレビ会議装置を用いて遠隔対話する際の資料としてVRを提示する場合、

遠隔地の講師を映し出すスクリーンと、資料として提示する VR のスクリーンの 2 面が必要となる。この 2 画面提示が 1 画面で可能になると、参加者の左右 2 枚のスクリーンへの視線移動が軽減され、見易さの向上が予測される（藤木ら 2008）。しかし、この場合、VR 映像に合成される講師の実写映像は、両眼映像と VR 映像の合成条件が明らかではなかったため、左目だけの単眼用映像の合成であった。そのため、VR 映像に両眼での実写映像を合成し身体ストレスが少ない立体視実現の合成条件を明らかにするのが課題であった。

VR と実写映像の合成に際しては、飛び出し感や奥行き感のような奥行き方向の立体感を左右する輻輳角の存在が無視できない。そこで本研究では、VR の輻輳角を固定し、それと輻輳角を変化させた実写映像との合成により得られる立体視の見易さについて、輻輳角の合成条件を明らかにすることを目的とする。

2. 立体視と輻輳角

人が物を見る場合における、輻輳のイメージを図 1 に示す。

図中の左は、近くにある物を見る場合の、右は遠くにある物を見る場合を示している。

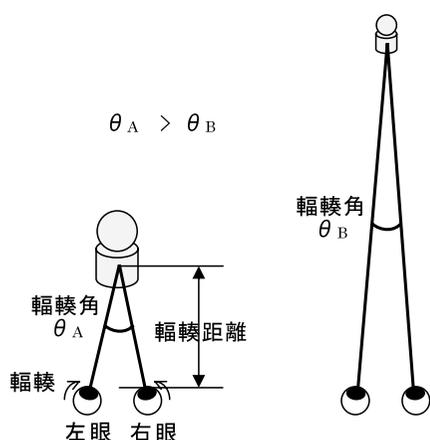


図 1 輻輳と輻輳角

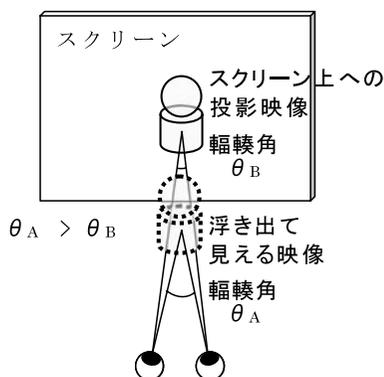


図 2 立体視での輻輳

左の場合、人の眼球はレンズを調節して対象物に焦点を合わせるとともに、左右の眼球そのものを内側へ動かしてものを見る。この眼球そのものを内側へ動かす働きを輻輳と言ひ、左右の眼球と対象物とのなす角を輻輳角と呼ぶ。右の、遠くにある物を見る場合の輻輳角 θ_B は、近くにある物を見る場合の輻輳角 θ_A より当然小さくなる ($\theta_A > \theta_B$)。

一方、スクリーンに投影された左右映像を立体視する場合の輻輳を、図 2 に示す。

この場合、眼球はスクリーン上に投影された映像に焦点を当てるために、レンズを調節する。しかし、浮き出し感が設定された映像はスクリーン面より手前に結像させようとするため、輻輳角 θ_A はスクリーン面での輻輳角 θ_B より大きくなる。この輻輳角の違いが、立体視をする場合に人の目が感じる違和感の原因と言われている。輻輳角 θ_A と輻輳角 θ_B の差が大きくなければ、人の目は違和感を感じながらもうまく結像させることができるので、対象をスクリーン面より手前に浮き出させて見せることができる。しかし輻輳角の差が大きくなると、ついには結像できなくなる。

本研究で取り上げている VR と実写という 2 種類の立体視像を重ねて投影する場合、2 種類

の立体視像間の輻輳角の差が変化することにより2種類の映像を同時に立体視することが困難になる。本研究の対象は、この2種類とも立体視が可能な輻輳角の合成条件の解明である。

3. 研究方法

3.1 実験環境の概要と実験条件

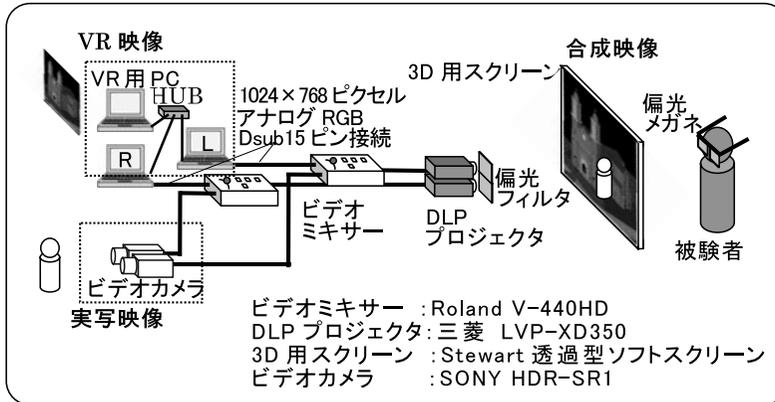


図3 実験環境

本研究における実験環境の概念図を図3に示す。

図のVR映像は、LR 2台のVR用PCと制御用のVR用PCで生成され、それぞれの画像毎にビデオミキサーへ送られる。一方、図の実写映像は、LR 2台のビデオカメラで撮影され、それぞれの画像毎にビデオミキサーへ送られる。ビデオミキサーでは、VR映像と実写映像が合成され、DLPプロジェクタにより偏光フィルタを通して3D用スクリーンに投影される。被験者は、この投影された合成映像を偏光メガネを装着して立体視することになる。この場合、実写映像のVR映像への合成は、テレビ放送において一般的に用いられるクロマキー合成により実現されており、そのため実写での撮影対象物背面にはブルースクリーンを配置した。実写映像とVR映像の合成例を、図4に示す。



図4 合成映像の例

実写映像撮影用のビデオカメラは、民生用のハイビジョン・カメラであり、合成映像でも実写部分はハイビジョン映像で提示される。一方、VR映像は、VR用PCにインストール済みの3Dエンジンの設定から、1024×768ピクセルのXVGAの解像度でビデオミキサーへ送られ、そのまま実写映像と合成させた。

実験映像の撮影は、スクリーン面上に実写映像が立体視できる2mを基準に、手が届き

そんな近くに実写映像が浮き出て見えるような撮影距離0.5mと、スクリーンより奥に実写映像が見える撮影距離2.5mの間を、0.5mきざみで変化させた。撮影映像は全て30秒程度であり、録画して全ての被験者が同じ映像で実験できるようにした。実験映像の投影は、プロジェクタからスクリーン中央までの投影距離を2mに設定した。この投影距離は、固定である。そして、投影の際には、撮影距離と等しく輻輳距離を設定し(この場合、撮影時の輻輳角と投影映像を見る場合の輻輳角は等しい:輻輳角0と表記),この状態を基準に輻輳角を1°きざみに-3°から+3°の間で7段階変化させた。これらの実験条件を、表1に示す。

表1 実験条件

輻輳距離 [m]	輻輳角 [°]						
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
0.5	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9
1	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7
1.5	0.3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3
2	-0.4	0.6	1.6	2.6	3.6	4.6	5.6
2.5	-0.9	0.1	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1

3.2 主観評価の方法

被験者が見るVRと実写の合成された立体視映像について、その見易さを4件法(4:そう思う, 3:どちらかというと思う, 2:どちらかというと思わない, 1:そう思わない)で、各条件での映像視聴直後に調査した。また、評価項目は、表2に示すように、体調カテゴリ2項目(眼の疲労度, 気分の悪さ), 見えやすさカテゴリ2項目(人物の見えやすさ, CGの建物の見えやすさ), 合成カテゴリ3項目(CGと人物の一体感, 人物がCGの中にあるような印象, CGと人物の違和感), そして浮き出し感カテゴリ1項目(浮き出し感)の計8項目を設定した。

表2 主観評価項目

< 体調 >
1: 眼は疲れましたか(眼の疲労度)
2: 気分は悪いですか(気分の悪さ)
< 見えやすさ >
3: 人物は見えやすかったですか(人物の見えやすさ)
4: CGにある浦上天堂は見えやすかったですか(CGの建物の見えやすさ)
< 合成 >
5: CGと人物に一体感がありましたか(CGと人物の一体感)
6: 人物がCGの中にあるような印象を受けましたか(人物がCGの中にあるような印象)
7: CGと人物の両方が同時に違和感なく見えましたか(CGと人物の違和感)
< 浮き出し感 >
8: 人物は、より浮き出ているように見えましたか(浮き出し感)

なお、被験者は長崎大学生12名とした。

結果の分析は、主観評価項目の全ての項目が合成映像の見易さに関係するため、全項目の主観評価値平均と実験条件の関係を検討することとした。

4．結果及び考察

4.1 輻輳角の変化と主観評価

輻輳距離が0.5～2.5mの範囲における、輻輳角と主観評価平均値の関係を、図5に示す。図中の曲線は、波線部細線が2次多項式による近似曲線を示しており、そのうちの評価平均値が最大値から5%低下する範囲までの曲線（以下、5%区間と呼ぶ）を実線部太線で示した。

図の輻輳距離0.5mの場合、近似曲線の5%区間は輻輳角が $-0.47 \sim 2.18^\circ$ の範囲を示していることが分かる。最大値は輻輳角 0.86° であり、この場合は投影距離より手前に投影した場合が最も見易いと言える。輻輳距離1mの場合、5%区間は輻輳角が $-1.07 \sim 1.38^\circ$ の範囲を示しており、最大値は輻輳角 0.16° である。輻輳距離1.5mの場合、5%区間は輻輳角が $-1.83 \sim 1.19^\circ$ の範囲を示しており、最大値は輻輳角 -0.32° である。輻輳距離2mの場合、5%区間は輻輳角が $-1.29 \sim 1.30^\circ$ の範囲を示しており、最大値は輻輳角 -0.01° である。そして輻輳距離2.5mの場合、5%区間は輻輳角が $-1.95 \sim 1.52^\circ$ の範囲を示しており、最大値は輻輳角 -0.22° である。以上のように、輻輳距離が変化しても、主観評価平均値の最大値は輻輳角 $-0.32 \sim 0.86^\circ$ の範囲に収まることが分かる。このことは、提示される合成映像は実写の投影距離とほぼ等しい輻輳距離（図中、輻輳角 0° ）

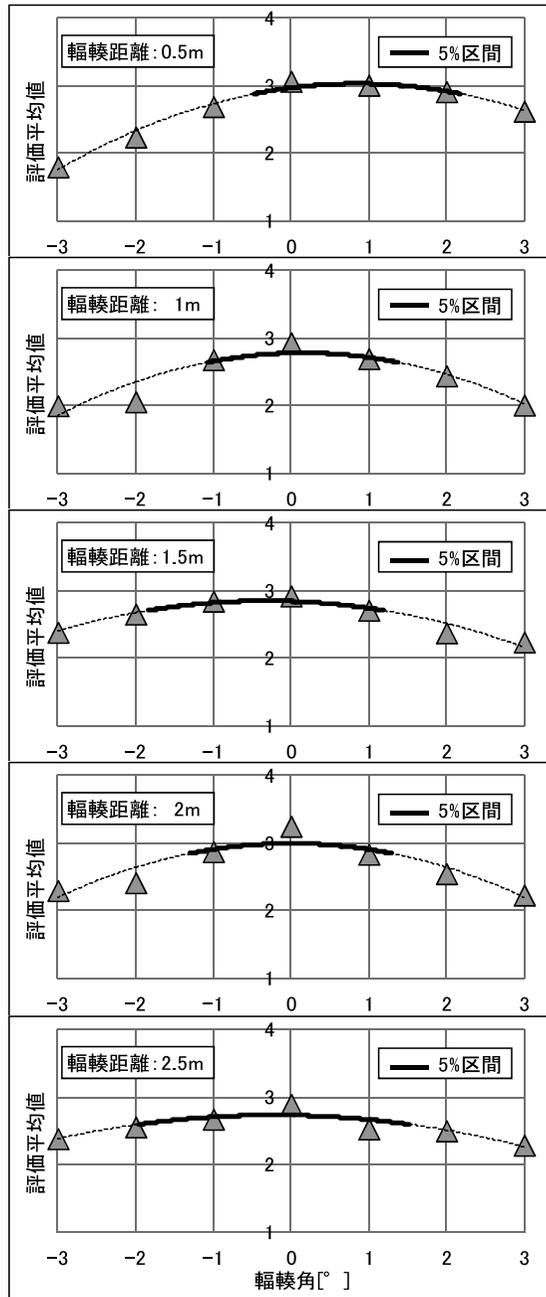


図5 輻輳角と主観評価の関係

の際に最も見易いことを意味している。また、どの輻輳距離においても、主観評価平均値の5%区間は、最大値を中心に $\pm 1.22^\circ$ (輻輳距離1m) $\sim \pm 1.73^\circ$ (輻輳距離2.5m)程度の幅を示すことが分かる。これは、合成映像の見易さはある幅を持つことを示しており、この見易さの許容範囲が人の目の調整機能の存在を示唆していると考えられる。

評価平均値の最大値は、輻輳距離2mの場合が3.03と最も高く、次に輻輳距離0.5mで2.99が高い値を示していることが分かる。一方、輻輳距離2.5mでは2.73であり、4段階評価の中央の値に近く、それほど高い評価を得たとは言えない。これは、輻輳距離2.5mの場合に被験者はスクリーンより奥へ投影された対象物を見ており、スクリーン面より奥に存在する対象物の提示は、立体視の恩恵を感じにくいことが要因として考えられるが、被験者数が少なく更なる検討が必要である。

4.2 両眼網膜像差と浮き出し感

両眼での奥行き深さの知覚については、本研究とは実験条件が異なるもののTyler (1991) の知見が参考となる。そこで、比較のために、浮き出し感に関する主観評価結果と両眼網膜像差 (対象物間の輻輳角の差) の算出値を図6に示す。また参考として、Tyler (1991) の結果を図7に示す。

ここでは、ヒトの顔面の起伏を5cmと仮定して両眼網膜像差を算出した。また、データが比較的そろっている輻輳距離1~2mのものについてのみ示した。図から、輻輳距離が大きくなるほど両眼網膜像差は小さくなるとともに浮き出し感の評価は高くなる傾向が確認できる。また、グラフの形状はTyler (1991) と類似していることが分かる。

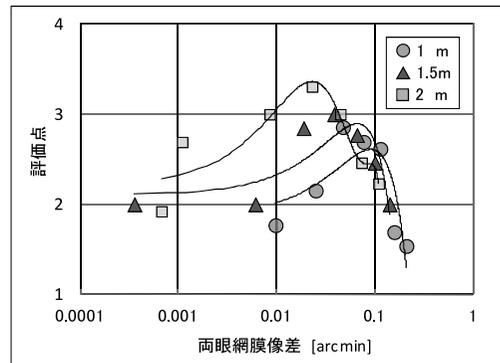


図6 両眼網膜像差と浮き出し感

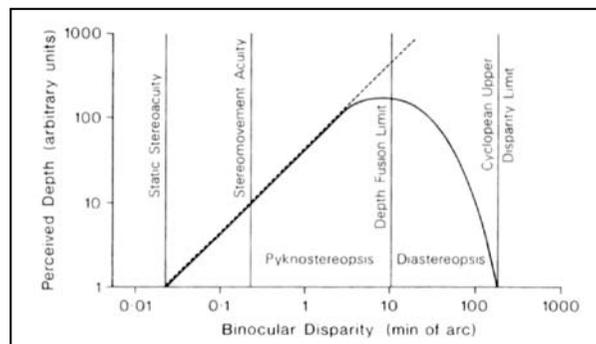


図7 Tyler (1991) の研究

5. おわりに

本研究では、VRと実写の合成映像の見易さについて検討するために、VRの輻輳角を固定し、実写の輻輳角を変化させた。そして、合成映像により得られる立体視の見易さについて、輻輳角の合成条件を明らかにするために実験的な検討を行った。その結果、次の

ことが明らかとなった。

合成映像の主観評価においては、どの輻輳距離においても輻輳角の許容範囲が存在する。その許容範囲は、 $\pm 1.22^\circ$ （輻輳距離1m）～ $\pm 1.73^\circ$ （輻輳距離2.5m）の範囲に収まり、これが本実験範囲での合成条件となる。

合成映像の見易さの主観評価は、輻輳距離2mにおいて最も良い評価を示す。

浮き出し感の評価は、Tyler と類似の傾向を示す。

参考文献

- AVATAR / アバター (2009) <http://movies.foxjapan.com/avatar/>
- Christopher W. Tyler (1991) Cyclopean Vision, Binocular vision, D. Regan (ed.), Macmillan Press, Scientific & Medical, 38-74
- 藤木卓, 左座智弘, 寺嶋浩介 (2008) 遠隔学習のための VR と実写の合成映像に関する主観評価. 日本教育工学会論文誌, 32(Suppl.), 157-160
- 森田裕介, 岩崎勤, 竹田仰, 藤木卓 (2005) 簡易式没入型提示システムの効果的な利用に関する一検討. 日本教育工学会論文誌, 29(Suppl.), 73-76
- 瀬戸崎典夫, 森田裕介, 竹田仰 (2006) ニーズ調査に基づいた多視点型 VR 教材の開発と授業実践. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 11(4), 537-544