

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 18 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24300046

研究課題名(和文) 立体映像による眼疲労と3D酔いの原因の特定と対策の確立

研究課題名(英文) Identification of causal factors and countermeasures of visual fatigue and 3D sickness due to stereoscopic images

研究代表者

宮尾 克 (Miyao, Masaru)

名古屋大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：70157593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：最大の成果は、3D立体映像に対して、飛び出し、引っ込みが視差1度以内、というガイドラインの記述の誤りを立証し、視差2度まで安全であることを確認したことである。多様な飛び出しや奥行き(両眼視差のレベル)において、調節(ピント)が輻輳(両眼の視線の交点)とともに動くとき(30歳代以下の場合)と、調節(ピント)がほとんど動かず、調節遠点の距離にほとんど固定されているとき(おおむね45歳以上の場合)、それぞれについて、ボケの程度の実験的な同定をおこなった。被写界深度(瞳孔径と明るさに依存)と近視の者のボケ(視力の低下)の程度との関連の理論的な推定をおこなった。

研究成果の概要(英文)：Recent advances in three-dimensional (3D) display technology have contributed significantly to society. For example, digital signage is popular. According to the 3D Consortium Safety Guidelines in Japan, a comfortable visual parallax with 3D images is less than ± 1.0 degree. However, 3D text must be shown in front of its associated content. We carried out an experiments to verify the permissive limits of cognition in participants regarding the parallax of 3D images. We used 94 participants aged 18 to 81 viewed a 3D flat Maltese cross image having no depth and projected outward from a screen at a large parallax of 1.0 degree to 6.0 degrees. Eighty-six percent of the subjects recognized the 3D flat image even when it protruded at a 2.0 degrees parallax. These subjects viewed the image comfortably and without visual problems. We can conclude that people can cognitively recognize a 3D telop at a 2.0 degree parallax without feeling fatigued.

研究分野：情報人間工学

キーワード：立体映像 視差 両眼融像 水晶体調節 輻輳 飛び出し限界

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、さまざまな3D映像システムが開発され、3D映画、3Dテレビなどで急速に一般に普及している。過去に2回、1950年代と1980年代に3D立体映像が流行した。流行の第三の波は2010年に起こった。多くの人々は、より高度で魅力的な立体表示を期待したが、残念なことに、3Dテレビは魅力あるものとならなかった。わが国の公共放送の立体映像は飛び出しも引っ込みも極めて控えめであり、リアルな映像とはほど遠かったことで人々を引きつけられなかった、さらに、過去の研究者は3D映像観視にともなう眼疲労、不快感は、調節と輻輳の矛盾が原因であると述べており、これを根拠に3DC安全ガイドラインによって3Dの視差(飛び出し、引っ込み量)が規制された。この調節輻輳矛盾とは、3D立体映像の観視では、水晶体調節は画面に固定されているが、輻輳は立体映像の位置で交差し、両者は乖離している、というものである。だが我々の先行研究では、3D立体映像観視時の被験者の調節は画面に固定されておらず、しかも、調節焦点が画面から離れても被験者は映像のボケをほとんど感じていないということがわかった。本研究では、一定の距離で被験者に実物体と3D立体映像を注視させて調節と輻輳を同時計測した。また、被験者が困難や不快感を伴わない状態での3Dテロップの最大飛び出し量の検証を行なった。さらに、内外の文献を考察し、ガイドラインの基準が適切であるかを検証し、快適で疲労の少ない3D映像の復権をめざして、3Dの向かうべき方向性を論じた。

(2) 申請者らの実験から、球体が遠く(視距離1m)から、近く(約35cm)へ、また、遠くへ、という3D映像の前後運動映像を注視すると、水晶体調節(ピント)と寄り眼(両眼の視線の輻輳の交点)は、ほぼ一致しており、ガイドラインのいうように、「画像に固定されたピントと、前後に動く輻輳(両目の視線の交点)との矛盾」など、全くない。この「調節・輻輳矛盾」を前提として、3Dの飛び出しや引っ込みを表す両眼視差は、1度(60分)以内と規定し、3Dテレビの場合には、立体かどうか、よくわからないくらいしか許容していないのが現状である。

(3) 本研究では、3D安全ガイドラインに代表される調節・輻輳矛盾に基づく眼疲労説を検証し、眼疲労と3D酔いの真の原因を実験的に明確に特定することである。さらに、原因の特定に基づき、真に安全で、快適な3D制作方法と基準の基礎資料を明らかにすることである。

2. 研究の目的

現在、3Dテレビなど立体映像システムが普及しつつあるが、眼疲労や3D酔いなどの問題点が存在する。また、日本の3D安全ガイドラインには、「3Dに対する水晶体調節の

ピントは、画面に固定されている」(申請者らの知見からこれは間違い)と述べている。同ガイドラインは、「輻輳はバーチャルな場所、視線が交差しており、画面の固定された調節(ピント)と矛盾し、これが眼疲労の原因」(調節・輻輳矛盾)とした。実際は30歳代以下ならピントも輻輳とはほぼ一致している。この「矛盾」を理由に、両眼の視差は、1度(60分)以内という基準を策定したため、退屈なレリーフ的な立体しか3Dテレビで許容されず、不人気の原因ともなっている。我が国の不適正な学説の影響で、世界的にも眼疲労の「原因」として「調節・相悖矛盾」の誤解が普及している。3Dの「調節固定神話」に基づく基準がISO化し、将来大きな批判を受けるならば日本にとっても重大である。すでに昨年、申請者らの国内外での活発な発表・啓蒙は、最高権威の大阪大学眼科の不二門教授からは賛意を得て、カリフォルニア大学パークリー校のBanks教授は我々への接近(もとは日本の旧説を支持)があり、今回、世界に新しい3Dの快適基準づくりの基礎資料を提供できるのは、現状では、申請者ら以外には見当たらない。旧説の信奉者らはISO化を目前に、立場上、沈黙している。技術立国の日本への汚名を防ぎ、世界に快適な3D映像づくりの真理と対策を発信することはきわめて大きな意義があると確信している。本研究は、眼疲労・3D酔いの真の原因を特定し、これを予防する対策の確立をめざすものである。

すなわち、多種多様な3D映像に対する多種多様な観察者(年齢、屈折状態(近視、遠視、老視)、立体視機能のあるなし)の調節(ピント)と輻輳(両眼の視線の交点)の同時測定を行ない、データベースを構築する。

多様な飛び出しや、奥行き(両眼視差のレベル)において、調節(ピント)が輻輳(両眼の視線の交点)とともに動くとき(30歳代以下の場合)と調節(ピント)がほとんど動かず、調節遠点の距離にほとんど固定されているとき(おおむね45歳以上の場合)、それぞれ、ボケの程度はどのくらいなのかを、実験的に同定し、被写界深度(瞳孔径と明るさに依存)と近視の者のボケ(視力の低下)の程度との関連の理論的な推定を考慮して、ボケの程度のモデルを確立する。

眼疲労や3D酔いを起こさない映像と、起こしやすい映像を多種の被験者に視聴させ、共同研究者の高田らが開発した3D酔いと眼疲労度の定量化の指標を用いて、いかなる3D撮影のしかたが、Adverse effectsを引き起こすのか、分類と重みづけを行なう。

アドバンスト・パワー・3Dというオリンパス・ピジュアル・コミュニケーションズ側が開発した画期的な快適3Dと、他の快適3D候補とを用いて、どのような3Dコンテンツならば、どの程度の視差、視距離、色、背景のボケ方の程度で、眼疲労、3D酔いが生じ

ないか、検証する。

小児は、立体視が未発達で、瞳孔間距離が狭く、特別の配慮が必要だが、それはどの程度の範囲なのか、小児の代わりに瞳孔間距離の短い成人の被験者を用いた安全な実験によって、検証し、小児を含む公衆放映のあり方・基準の基礎資料を作る。

3. 研究の方法

さまざまな3D映像にたいする水晶体調節（ピント）と両眼視線の輻輳（視線の交点）の同時測定を、種々の年齢層、視機能の被験者で行なう。「ピントが、画面に固定していないなら、ボケているはずだ」という調節・輻輳矛盾説信奉者からの批判に、ボケの程度を半定量的に、特定する。これは、飛び出し・引っ込みの程度別、年齢層別、近視・遠視・老視の視機能別に、実験的に明らかにする。眼疲労や3D酔いを起こさない3D映像の制作方法を明らかにする。多視点3Dコンテンツは、もっとも有力な快適3D制作システムと考えられるが、他も含めて実験的に検証する。制作する3D映像の種類別の視差の基準、眼疲労や3D酔いを95%以上、99%以上の視聴者に起こさせない3D制作の基準を明らかにして、さらに、小児（立体視が未発達で、瞳孔間距離が短い）への必要な配慮、小児を含む公衆放映のあり方を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 立体映像を注視する際に水晶体調節と輻輳の矛盾があるか。

独自開発の機器を用いた実験を行い、異なる機器を組み合わせるにより水晶体調節反応と輻輳運動を同時に測定した。この新たに考案した同時測定法は十分に有効な測定法であり、それは通常の映像（2D）や立体映像の測定結果から明らかであった。また立体映像注視時の調節と輻輳の同時測定により水晶体調節は立体映像を見ている際には立体像の運動に同調して変化していることが明らかとなった。中高齢者を対象とした測定では、中高齢者の立体視は若年齢層とは異なるメカニズムで行われていることが示唆された。遠視用（老視）のレンズにより矯正を行うことによって、より負担が少ない立体視が可能になるのではないかと可能性が得られた。

(2) 3D技術における最近の進歩には眼疲労の増加が伴った。そのような疲労の従来の通常の説明は、調節と輻輳が立体映像中にミスマッチしているため、ということである。この説が正しいかどうか検証を実験的におこなった。若い被験者の中で、彼らが実物の視標と3Dビデオクリップを見たときの水晶体調節と輻輳の両方の焦点距離を同時測定した。この測定は独自の測定機器を使用してなされた。3Dビデオクリップは、液晶シャッター・グラス・システムを使用して、被験者に

提示された。結果は、実物の視対象を見るとき、被験者の調節および輻輳のジオプリー値は、周期的に視対象の動きに類似して変動したことを示した。被験者が3Dビデオクリップを見たとき、水晶体調節と輻輳を測定した。調節と輻輳の両方は、3Dビデオクリップの仮想位置と一致して変動することが分かった。したがって、3Dイメージを見ているときに、調節と輻輳の間に不一致はほとんどなかった。

(3) 再々の流行にも関わらず、3Dテレビは魅力あるものとならなかった。わが国の公共放送の立体映像は飛び出しも引っ込みも極めて控えめであり、リアルな映像とはほど遠かったことで人々を引きつけられなかった。さらに、過去の研究者は3D映像観視にともなう眼疲労、不快感は、調節と輻輳の矛盾が原因であると述べており、これを根拠に3DC安全ガイドラインによって3Dの視差（飛び出し、引っ込み量）が規制された。この調節・輻輳矛盾とは、3D立体映像の観視では、水晶体調節は画面に固定されているが、輻輳は立体映像の位置で交差し、両者は乖離している、というものである。我々は、一定の距離で被験者に実物体と3D立体映像を注視させて調節と輻輳を同時計測した。また、被験者が困難や不快感を伴わない状態での3Dテロップの最大飛び出し量の検証を行なった。その結果、3D映像の快適視差範囲は、1つの根拠となる調節・輻輳矛盾が成り立たず、また、もう1つの根拠である両眼融像の限界についても、文献的、実験的検証において、現行の基準値の「 ± 1.0 度以下」は今日では見直しが必要であり、有力な候補である2.0度への改定が妥当であると考えられた。飛び出し基準を2.0度にした場合、調節が基準値まで移動しても、画面とのディオプリー差は僅少であり、明るい映像であれば画面は被写界深度内に収まるため、ボケを感じることなく観視可能であることがわかった。わが国ではダイナミックな映像表現が容認されている韓国などと異なり、安全ガイドラインに基づく規制が徹底されており、3Dテレビは衰退してしまった。安全、快適で、かつ豊かな表現力と魅力を持った3D映像を生産できる土壌を作り、ユーザには「映画館だけでなく自宅のテレビでも見たい」と思わせるような、内容的にも映像制作技術的にも質の高い映像を引き金に3Dの復権を目指さねばならない。さらに、内外の文献を考察し、ガイドラインの基準が適切であるかを検証し、快適で疲労の少ない3D映像の復権をめざして、3Dの向かうべき方向性を論じた。

(4) 実験研究により、マルタ十字の視標を視差 1.0° ～ 6.0° まで変化させたときの飛び出し認知限界を年齢層別に検証した。本実験の結果から3Dテロップの飛び出し視差は 2.0° 以内であれば、86%の被験者が立体・飛び出しを認知できた。年齢層別に見ると、

若年層の方が高年層よりも大きな視差で認知できた被験者の割合が大きくなった。3Dテロップに関する快適視差範囲のガイドラインは未だ定められておらず、わが国では、3D安全ガイドラインが推奨する「快適視差範囲1.0度以内」を準用している製品が多い。しかし、3Dテロップの視差に1.0°以内という規制をかけてしまうと、映像の飛び出しはさらに小さくなり、3D映像の魅力を半減させてしまう。コンテンツの手前に3Dテロップを飛び出させる基準を2.0°以内程度に設定することが実験結果から示唆される。また、3D安全ガイドラインの快適視差範囲に関する再検討が望まれる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計25件)

塩見友樹, 堀弘樹, 佐野峻太, 丹羽南, 宮尾克. モバイル端末における視認性評価 - 裸眼方式の立体映像の認知と立体文字の可読性. モバイル学会誌, 査読有, 1巻, 2012, 93-99

M. Takada, M. Miyao, M. Satoh, K. Yoshikawa, Y. Matsuura, H. Takada, Effect of Accommodation Training on Visual Function. Journal of Sports Medicine & Doping Studies. 査読有, 2, 2012, doi:10.4172/2161-0673.1000112
Shiomi T, Uemoto K, Kojima T, Sano S, Ishio H, Takada H, Omori M, Watanabe T, Miyao M. Simultaneous measurement of lens accommodation and convergence in natural and artificial 3D vision. Journal of the SID, 査読有, 2013, DOI # 10.1002/jsid.156

Sugiura A, Yokoyama K, Takada M, Hasegawa S, Takada H, Tahara H, Miyao M, Stereoscopic Displays and Accommodative Focus, Forma, 査読有, 29巻, 2014, Special Issue S53-S63
Hasegawa A, Hasegawa S, Omori M, Takada H, Watanabe T, Miyao M, Effects on Visibility and Lens Accommodation of Stereoscopic Vision Induced by HMD Parallax Images, Forma, 29巻, 2014, 査読有, Special Issue S65-S70

Hori H, Shiomi T, Hasegawa S, Takada H, Omori M, Matsuura Y, Ishio H, Miyao M. Comparison of 2D and 3D Vision Gaze with Simultaneous Measurements of Accommodation and Convergence, Forma, 29巻, 2014, 査読有, Special Issue S71-S76

木下史也, 森柚樹, 杉浦明弘, 宮尾克, 高田宗樹, 長時間の立体映像視聴が体平衡系および自律神経系に及ぼす影響, 日本衛生学雑誌, 査読有, 71巻, 2016, 30-36

Sugiura A, Itou Y, Ota S, Shimura M, Tanaka K, Takada H, Miyao M, Effect of

unpredictable motion component in video on body sway, Forma, 査読有, 30巻, 2015, 43-50

杉浦明弘, 田中邦彦, 若田部駿, 松本千佳, 宮尾克, 往復運動映像観視における重心動揺の時間特徴解析, 日本衛生学雑誌, 査読有, 71巻, 2016, 19-29

山川達也, 田原博史, 小島健仁, 森田一三, 杉浦明弘, 木下史也, 采女智津江, 吉川一輝, 本多悠真, 宮尾克, 3Dタブレットに表示した眼疲労回復のための3Dコンテンツによる視力への効果, モバイル学会誌, 査読有, 5巻, 2015, 9-13

〔学会発表〕(計92件)

Sugiura A, Tanaka K, Takada H, Kojima T, Yamakawa T, Miyao M. A temporal analysis of body sway caused by self-motion during stereoscopic viewing. Human Computer Interaction International (HCII) 2015, Los Angeles, CA, USA.

Yoshikawa K, Kinoshita F, Miyashita K, Sugiura A, Kojima T, Takada H, Miyao M. Effects of two-minute stereoscopic viewing on human balance function. Human Computer Interaction International (HCII) 2015, Los Angeles, CA, USA.

Ishio H, Yamakawa T, Sugiura A, Yoshikawa K, Kojima T, Terada S, Tanaka K, Miyao M. A Study on Within-Subject Factors for Visually Induced Motion Sickness by Using 8K Display: Through Measurement of Body Sway Induced by Vection While Viewing Images. Human Computer Interaction International (HCII) 2015, Los Angeles, CA, USA.

Yamakawa T, Takada H, Date M, Kojima T, Morita I, Honda Y, Miyao M. Measurement of Lens Accommodation during Viewing of DFD Images. Human Computer Interaction International (HCII) 2015, Los Angeles, CA, USA.

S. Kamino, T. Yamakawa, F. Kinoshita, C. Uneme, T. Kojima, M. Miyao. Using Auxiliary Images to Extend the Fusional Limits for Stereoscopic Images. International Display workshop (IDW 2015), 大津市, 大津プリンスホテル

T. Yamakawa, Y. Honda, F. Kinoshita, I. Morita, T. Kojima, M. Miyao. The Training Effect to the Fusional Limit of Stereoscopic Images. International Display workshop (IDW 2015), 大津市, 大津プリンスホテル

〔図書〕(計2件)

高田宗樹, 宮尾克, バイオフィードバック

クトレーニングの評価技術とその応用
～ヘルスケアのための人間工学技術～、
名古屋大学・名古屋大学最先端メディカ
ルエンジニアリング編集委員会・編、
175-180、2012年
宮尾克，スマホで視力回復！ 眼のスト
レッチ，池田書店，2014年

〔産業財産権〕

出願状況（計2件）

名称：視力測定方法および装置
発明者：宮尾克、小嶋健仁、伊達宗和、高田
英明
権利者：名古屋大学・日本電信電話株式会社
種類：
番号：
出願年月日：平成27年3月20日
国内外の別：国内

名称：表示・撮像装置
発明者：宮尾克、小嶋健仁、伊達宗和、川村
春美、小嶋明
権利者：名古屋大学・日本電信電話株式会社
種類：
番号：
出願年月日：平成28年3月21日
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮尾 克 (MIYAO, Masaru)
名古屋大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：70157593

(2) 研究分担者

奥山 文雄 (OKUYAMA, Fumio)
鈴鹿医療科学大学・医用工学部・教授
研究者番号：70134690

長谷川 聡 (HASEGAWA, Satoshi)
名古屋文理大学・情報文化学部・教授
研究者番号：20269674

渡邊 智之 (WATANABE, Tomoyuki)
愛知学院大学・心身科学部・准教授
研究者番号：00416190

大森 正子 (OMORI, Masako)
神戸女子大学・家政学部・准教授
研究者番号：10397490

石尾 広武 (ISHIO, Hiromu)
福山市立大学・都市経営学部・教授
研究者番号：40271035

高田 宗樹 (TAKADA, Hiroki)
福井大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：40398855

(3) 研究協力者

藤掛 和宏 (FUJIKAKE Kazuhiro)
公益財団法人・大原記念労働科学研究所・
研究部・研究員
研究者番号：90508467