

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

主論文の要旨

論文題目 3D 立体映像の視認性と生体影響に関する研究
氏名 小嶋 健仁

論文内容の要旨

両眼視による 3D 技術自体は新しいものではない。ステレオビューワーとステレオカードのセット販売は、19 世紀後半から富裕層を中心に広がっていた。映画の発明は 1890 年代であるから、3D 立体映像技術は映画以前に商業化されていたのである。このような 100 年以上の歴史がありながら、3D 立体映像の観視にともなう映像酔いや不快感の原因に未だ明確な答えを出せていない。

1953 年、「TIME」誌に 7 ページにわたる記事が掲載された。「3D ではスクリーンより近い距離を見つめなければならず、画面がボケて頭痛がしてもいいか、3D を見ないかどちらかを選ぶしかない」とある。現在でもいわれている「調節輻輳の不一致が頭痛や不快感の原因」とする調節輻輳矛盾説が、すでに 60 年前に示されているのである。日本では、2010 年の「人に優しい 3D 普及のための 3DC 安全ガイドライン」により、3D 立体映像の視差範囲は ± 1.0 度以下に規制されたが、規制の根拠は調節輻輳矛盾説であり、見方を変えれば、この問題が半世紀以上も解決されないままであったということである。

この規制は、安全性を優先しすぎた結果、ハードウェア、コンテンツ普及の障害となった可能性も考えられる。世界初のフルハイビジョン 3D テレビの発売された 2010 年は 3D 元年と呼ばれたが、3D テレビは魅力あるものとならなかった。3D コンテンツ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く、期待に応えられなかった。人類にとっての豊かな映像表現の手段である 3D 立体映像が、少なくとも我が国の公共テレビ放送においては、著しく存在価値を失ってしまったことは重大な損失である。安全ガイドラインが、調節輻輳の矛盾を根拠に視差範囲を 1.0 度以下にしてしまったことが 3D の魅力を低下させた一因ではないかと思われる。3D コンテンツのクリエイターからは、安全ガイドラインに従っていると、迫力ある 3D 立体映像は作れない、という声も上がっている。

科学技術の進歩の中で、ともすれば経済的利益のために安全をないがしろにする規制の骨抜きが世界史的には目立つのが実情であるが、3D 立体映像については、逆の作

用をもたらせたといえる。「安全」を理由にした過剰な規制が、その技術の本来持っている優位性を喪失させているとするならば、どのような規制が望ましいのか、あるべき規制のレベルについて考察する必要がある。

調節輻輳矛盾説に対して、共同研究者らの先行研究では、水晶体調節・輻輳の同時計測方法を確立し、実物、2D映像、3D立体映像の計測を行ない、若年者に関しては、3D立体映像観視時の水晶体調節は、自然視状態と同様に、飛び出し、もしくは引っ込む仮想物体の動きに連動して移動しているという結果を得た。また、近方視の場合、自然視状態で一般的に見られる「調節ラグ」と同様に、仮想物体の飛び出し位置から0.3~0.4D遠方側で水晶体調節値が計測されることも確認された。

本研究では、先行研究により得られた知見に加え、加齢による調節応答の変化の一般化、3D映像の飛び出し量の認知を計測、検証し、安全ガイドラインに示された3D立体映像の視差範囲1.0度未満という値が妥当であるかを人間工学的アプローチや文献的検証により検討し、3Dの目指すべき方向を述べたものであり、全体は6章より構成される。

第1章は『序論』であり、本研究の背景と目的が記されている。3D表示技術の幅広い応用分野について述べるとともに、情報技術の世界的な発展にともなう利便性の向上と、不利益、危険性の増加、生体影響発生の可能性に対し、適切な規制の必要性を述べている。また、先行研究において示された、若年層においては水晶体調節と輻輳が乖離していないことに対する疑義にどう答えるか、さらに3Dコンソーシアム安全ガイドライン規制値の妥当性を検証する必要性について述べている。

第2章『3D立体映像の歴史と現状分析』では、まず両眼立体視に関わる基本的な視機能と立体の手がかりについて述べている。視機能には生得的なものとして、水晶体の厚みを変える調節機能と、輻輳・開散の眼球運動、単眼運動視差、それに立体視に深く関わる両眼視差があり、さらに、経験的なものとして、肌理の勾配、物の大きさ・重なり・陰影、コントラスト、鮮明度、さらに線遠近法、空気遠近法といった経験的な奥行き感をつかむ要因があり、それぞれの特徴を述べている。次に3D立体映像の歴史、3D立体映像表示技術と応用分野について、最後に、現在のわが国の3D立体映像の現状と3Dテレビ市場の状況に安全ガイドラインがどのように関わっているかを述べている。

第3章『サインカーブ運動する実物視標の調節値計測と年齢別フィッティング』では、実物視標を用いた視標注視時の調節値を計測し、被験者を、老視が視力に及ぼす影響の大きさで4つのグループに分け、年齢別にフィッティングを行ない、加齢にともなう調節能力の変化の一般化について述べている。眼球運動である輻輳は、年齢に関係なく働くが、水晶体が水分を失い弾力が低下してゆくため、加齢にともない、調節能力は低下する。

調節ラグも加味すると、調節応答の振幅が70%より小さくなった場合に調節能力が明確に低下したと考えられる。また、加齢にともない近点が遠くなっていくため、両者を含め、調節反応の低下が明確に現れるのは、一般に老視の影響が現れる中年以降(40代中盤以降)であり、若年層を1とすると中年層は0.8、高年層は0.5程度の調節力といえる。また、高年層では、近見視の状態では、明確な縮瞳反応が起こることも再確認された。

調節反応の遅れ(ディレイ)については、若年から中年までは明確な遅れはないが、高年層で明確な遅れが出るのが示された。

第4章『奥行き情報を持たない視標による3Dの飛び出し量認知』では、奥行き情報を持たない視標による3D立体映像を用いた飛び出し量認知の実験結果について述べている。ここでは、3Dテロップを視標に用いて飛び出し量の認知実験を行い、安全ガイドライン規制値の2倍の飛び出し量であっても90%近い被験者が努力することなく3D立体映像を認知可

能であることを示した。同時に、3D映画の字幕などは、3Dテロップの文字は、それ自体には奥行きがないこと、通常使用している言語であればパターンとして認識しやすいことも含めて考えると、コンテンツの十分な飛び出しのさらに前側に、3Dテロップをおよそ2.0度の飛び出しで表示することが可能であり、3D映像のガイドラインに制限されず映像よりも飛び出した位置に設計できることが示された。

第5章『3D立体映像のガイドライン規制と生体影響リスク』では、3D立体映像の快適視差範囲の規制値が妥当であるかどうかを、規制値を越える視差量を持った指標を用いて飛び出し認知実験を行ない、融像限界を検証している。さらに、通常よりも画面輝度の低い映像を用いて調節・輻輳を同時計測し、被写界深度の影響を検証し、考察を行っている。実験の結果を第3,4章の結果と合わせて検証し、また、文献的検討も行い、3Dコンソーシアム安全ガイドラインの規制値が根拠としているデータの読み誤りがあること、実験結果の融像限界の検証値から、快適視差範囲は±2.0度が妥当であることが示された。また、安全ガイドラインの記述が、3D立体映像の観視時に「眼はディスプレイ面にピントを合わせる」から、「ピントを合わせるべき画像はディスプレイ面にある」と変わっていること、また、近年の書籍には「調節は画面に固定」ではなく「調節は鮮明な網膜像を得るために画面近傍に働きます」という記述が見られることから「調節が画面に固定される」かどうかは十分に検証されてこなかったこと、記述の変化は「調節は画面から離れて働いている」ことが認知され始めていることが見て取れる。上記の結果より、ガイドライン規制値の改訂の必要性を示している。

第6章は、論文の『結語』であり、本研究を総括するとともに、今後の課題が述べられている。

本研究では、3D立体映像の視認性と観視にともなう生体影響を、人間工学的アプローチにより評価、検証し、3Dの進むべき方向を示した。3D立体映像の規制値については、リスク（危険）とベネフィット（利益）のバランス、社会影響も考慮して、有害影響をできる限り低く抑えつつ、安全ガイドラインの規制値改訂の提起と改定値の候補としての視差範囲±2.0度の提示。現状での3D立体映像は、3DCGを有効活用した自然な視差を持つ映像作りの必要性があることも含め、豊かな表現力と魅力あるコンテンツの制作によって、3Dの復権を目指さねばならないことを提言した。

今後の課題として、3D立体映像の実際の運用に際しては、長時間観視による疲労度や視機能への影響を検証しなければならないこと、また、水晶体調節の焦点位置と被写界深度、瞳孔径に関する影響評価についても、被写界深度の範囲を精密に計測する必要があることを述べた。