

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

## 主論文の要旨

論文題目 立体映像の視機能への影響に関する  
人間工学的研究  
氏名 塩見 友樹

## 論文内容の要旨

近年、立体映像技術の発展と普及はめざましい。その背景としてはフラットパネルディスプレイの高精細、高画素数化が進み、デジタル通信や放送、ブロードバンド等の技術的な発展、普及が進んできたため、その先のニーズとして、より現場での視聴に近い環境の実現が求められており、格段にリアリティの高い立体映像が期待されているということが挙げられる。しかし、その普及により、様々な応用が期待される一方で、依然として眼精疲労や 3D 酔い等の症状に苦しむ視聴者が存在し、その原因は  
いまだ解明されていない。

本研究では、安全、快適な立体映像技術のための原則や運用のガイドラインを狙いに据え、そのための大きな課題の一つである、立体映像による悪影響の原因の解明を目指した。

この悪影響の原因として、有力であるとされる「水晶体調節と輻輳運動の不整合」という説があり、この説では、ピント合わせの働きである水晶体調節は、映像を鮮明に捕らえるためディスプレイの表示面に固定される。しかしながら、両目で物を見る働きである輻輳運動は立体映像の左右像の視差の変化により、焦点位置が映像に合わせて変化をしてしまうため、我々が通常の空間で物を見る状態とは異なる状態となり、それが悪影響につながる、というように説明をされる。これは 3D コンソーシアムの安全ガイドラインにも記載されているように、半ば定説のように扱われてきた。ところが、これまでの視機能研究においては、測定機器の制約上、これらを同時に計測することは不可能であり、実際にこの説が立証されたという例はなく、また、この説が誤りであるという意見もいくつか挙げられており、その存在の有無を調査することは、悪影響の原因解明のため非常に有意義であると言える。

本研究ではその点に着目し、この「調節と輻輳の不整合」が存在するか否かを立証することを目標として行われた。そのための研究手法として、これまで同時計測が不可能とされていた、調節と輻輳の同時計測を行うための計測方法を考案し、その方法を使用して、実際に立体映像を注視している被験者の調節と輻輳を同時計測すること

により、存在の有無を調査した。また、立体映像技術が応用されている事例についての研究もまた、悪影響の原因の解明と並ぶ重要な事項の一つである。そこで、テレビなどとは異なる使用が想定される、モバイル端末に注目し、立体の映像、または画像を表示した際の、その視認性と可読性の評価も行った。これは、立体映像技術を使用した応用事例の研究として、既存の研究がほとんど行われていない、モバイル端末における立体表示のユーザビリティへの影響について調査するためである。

本論文は 6 章で構成されており、第 1 章の序論においては研究の背景や目的、大まかな研究手法について述べている。

第 2 章では水晶体調節と輻輳運動の同時計測を可能とする新たな計測方法の確立を目指して研究がおこなわれた。立体映像視聴に伴う悪影響の原因として有力とされる「水晶体と輻輳運動の不整合」だが、既存の方法ではこれら二つの視機能を同時に計測することが不可能であった。それは実験機器の制約が非常に大きいためであり、本章ではこれらの同時計測を可能とするため、別々の目的で使用される、新たな測定機器を二つ導入し、実際に同時計測が可能であるかということを検証した。水晶体調節を測定には WAM-5500 というオートレフ/ケラトメーターを、輻輳運動の測定には EMR-9 というアイマークレコーダーを使用した。実験は新たな計測法を使用し、実物体を注視している被験者の調節と輻輳の測定を試みるというものであった。その結果、調節と輻輳の焦点距離は実物の動きに追従して変化しており、これより、ここで考案した新たな計測方法が調節・輻輳の同時計測法として十分に有効なものであることが分かった。

つづく第 3 章の前半では、前章で考案した調節と輻輳の同時計測法を使用して若年の被験者が立体映像を視聴している際の計測を行った。このとき、比較対象として、通常の、2D 映像を視聴しているときの調節・輻輳も測定した。その結果、若年者が 2D 映像を視聴している際には映像の動きに依らず、調節、輻輳ともに映像の表示されているディスプレイ面に固定されているという結果となっていたが、立体映像を視聴している際には、映像の動きに合わせて調節と輻輳の焦点位置は変化し、その焦点距離は被験者から立体映像までの仮想距離に一致するという結果を得た。これより、立体映像を視聴している際に生じているという「調節と輻輳の不整合」は、実際には観測できず、存在しないのではないかということが示唆された。そして第 3 章の後半では、中高齢者の被験者を使用して計測を行った。その結果、この年齢層では映像が動いても水晶体調節の焦点位置はほとんど変化せず、若年者に見られなかった傾向として瞳孔径が映像の動きに合わせて変化をするという結果を得た。このことから、年齢の高い被験者では若年者とは違う機構で立体映像を視聴している可能性が得られた。

第 4 章では、立体映像特有の諸症状に対して、調節、輻輳という観点から、我々が普段ものを見ている状態との差異が存在するのか、すなわち「調節と輻輳の不整合」は存在するのかという問題に対して、第 3 章よりも、さらに詳細に検討することを目的に研究がおこなわれた。第 4 章の前半では、高齢者を含む多人数の被験者を対象として、移動視標を注視している被験者の調節応答を計測することでその特性について調べた。その結果、若年者では移動視標の動きに追従して、その焦点距離を変化させていたが、中年年齢層、高齢層と、年齢が上がるにつれ、近方へ焦点を合わせることができなくなるという結果を得た。そして同時に、年齢層が上がるにつれ、視標が近方時にあるとき、瞳孔が縮瞳する傾向があるという結果を得た。これは第 3 章における高年齢層での実験結果と同様の傾向であるが、第 3 章のように立体映像視聴時だけでなく、実物視標を注視している際でも生じる機構であることが分かった。これにより、第 3 章の計測結果は「調節と輻輳の不整合」が存在しないという説を否定する結果ではないという結論を得た。

そしてその後、第3章とは異なり、2D映像との比較ではなく、実際の移動視標を見ている状態における同時計測と、それをもとに作成した立体映像を使用して、それらを観察している被験者の水晶体調節と輻輳運動を同時計測することで比較・検討を行った。これは第3章をもとにした実験であるが、その結果をより明確化するため、立体視方式を変更して行った。その結果、第3章と同様、「調節と輻輳の不整合」はやはり見られず、立体映像視聴時に水晶体調節と輻輳運動の間に矛盾は存在しないという結論を得た。またこの実験では水晶体調節は常に正確に焦点を対象物に合わせられるわけではなく、立体映像だけでなく、実物の移動視標を注視している状態であってもそれは同様であり、その原因として、被写界深度が深くかかわっているのではないかということが示唆された。

第5章は、立体映像技術が使用されているモバイル情報端末に注目し、その視認性、可読性の評価を行った。これは、第4章までの、テレビ型のモニターで行われる、立体映像特有の悪影響に対する研究とは異なる。本章は現状では十分な評価がなされていない、モバイル端末における、ユーザビリティを評価するという、立体映像技術の応用事例を取り上げた研究である。裸眼で立体視を行うことが可能であるパララックスバリア方式を採用しているモバイル情報端末を使用して、立体視の可否や立体認知の潜時、立体表示の文字探索に要する時間などの視認性について評価した。また本章では合わせて、テレビのような場合にはあまり想定されないような、モバイル情報端末の使用下で想定される問題として、ディスプレイの様々な角度変化が立体視に与える影響についても調査した。その結果、裸眼で視聴し、なおかつ画面がテレビなどに比較して小型のものであっても、従来までのものと変わらず、十分に立体映像の視聴は可能であるということがわかり、また立体文字の実験においては従来の2D表示のものとは変わらない可読性が期待できるという結果を得た。モバイル情報端末は使用時にその角度が頻繁に変化することが想定されるが、その状況を想定し、ディスプレイの角度を変化させた時の立体視の可否と視認性を評価したところ、仰角の変化に対しては比較的立体視が可能な範囲は広く、頑健性が見られたものの、偏角、回転角が変化したときは立体視困難を容易に惹起し、これらの角度の変化の影響が大きいことを明らかにした。

そして第6章では全体の総括と今後の課題について述べている。

本研究では、安全、快適な立体映像技術のための原則や運用のガイドラインの確立のため、立体映像による悪影響の原因の解明に主眼を置いて研究を進めてきた。その結果、悪影響の原因としてよく取り上げられる「水晶体調節と輻輳運動の不整合」が存在しないということを明らかにすることができた。悪影響の原因の解明には至っていないが、「調節と輻輳の不整合」のため、映像や画像間の左右像の視差は $1^\circ$ 以内に収めるべきである、という3Dコンソーシアムの安全ガイドラインの記載は、本論文で明らかになった事実によるならば、考慮する必要のないものとなる。これは、立体映像コンテンツの魅力という観点から考えたとき、映像の飛び出し量を増加させても問題はないといったように、その作成基準に大きく影響することとなるだろう。









