

報告番号	※ 甲 第	号
------	-------	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目	体平衡・自律神経機能検査を用いた 立体映像の量的評価に関する研究
氏 名	木下 史也

論 文 内 容 の 要 旨

近年、立体映像の表示技術は著しく向上し、映画やテレビ、ゲームなどといった様々な領域で使用されている。両眼立体視の概念は、1832年にイギリスの物理学者 Charles Wheatstone によって提唱され、これまでに150年以上の歴史がある。20世紀前半までは、立体視がほぼ立体表示技術を意味したが、近年では、認識する対象に対して適切な位置に仮想情報を提示する拡張現実感 (Augmented Reality, AR) や立体映像に対象へのフィードバック機能を付加した人工現実感 (Virtual Reality, VR) なども登場している。立体表示技術の応用は医療や建築、アミューズメントなど幅広い領域で活躍している。しかし、立体映像はその視聴画像や視聴条件などにより、頭痛や嘔吐、眼疲労などの不快な症状を引き起こすことが報告されている。立体映像の視聴が引き起こす問題点の原因については、いくつかの諸説が述べられているだけであり、本質的な改善に至っていないのが現状である。映像酔いの発生機序に関する先行研究では種々の仮説が提案されているが、映像酔いの量的評価に関する先行研究では、酔いに関するアンケート調査を用いた主観的な評価がほとんどであり、生理指標を用いた定量的な評価方法は確立されていない。そのため、立体映像の安全な視聴を可能とするためには、映像酔いを引き起こす因子について生理指標を用いて特定し、評価を行うことが求められている。そこで、本論文では、生体が自律的に発する生体信号を解析する生体信号処理により、立体映像の視聴が生体に及ぼす影響について定量的な評価手法の検討を行う。

立体映像視聴時に引き起こされる映像酔いについては、水晶体の調節機能と輻輳運動の不一致がその理由として説明が行われてきた。この仮説では、通常自然視では一致している水晶体の調節機能と輻輳運動が、立体映像の視聴時では、水晶体の調節機能は映像が提示されている画面に固定され、輻輳は飛び出している仮想物体に固定されるため、自然視とは異なった見え方となり、視覚疲労が生じるとされる。この仮説は長い間、立体映像視聴時に生じる視覚疲労の原因として記述され、安全ガイドラインなどの多くの文献で記述された。これに対し、共同研究者らの先行研究では、水晶体調節と輻輳運動の同時測定法を確立し、実物体、2D映像、立体映像でそれぞれ比較を行った。その結果、立体映像視聴時での若年者の水晶体調節は、自然視状態と同様に、仮想物体は飛び出しおよび引込みの動きに連動し、移動していることが示された。このことから、一般にいわれている水

晶体調節と輻輳運動の不一致は生じていないことが確認された。現在、映像酔いの発生機序については、感覚不一致説による説明が一般的である。感覚不一致説とは、体平衡系は視覚系・前庭系・体性感覚系の情報を入力としているが、これらの情報の組み合わせが、それまでの経験によって確立した感覚系の情報の組み合わせと一致しない時に、空間識が不安定となり頭痛・嘔吐などの動揺病症状が生ずるという仮説である。体平衡系で最も参照されると考えられる前庭系からの生体信号は、脳幹に位置する前庭神経核にも投射される。平衡感覚信号はこの前庭神経核を介して、脊髄運動ニューロンや眼運動ニューロン、前庭小脳、大脳皮質および脳幹自律中枢といった上位の中枢へ中継される。特に、後者の前庭-自律神経系により、前庭刺激が延髄の嘔吐中枢に達することを意味しており、乗り物酔いも前庭自律神経反射によってもたらされる。また、前庭系と自律神経系とは、解剖学的にも電気生理学的にも密接な関係があることが知られている。これは酔いによる不快症状との関係を強く示唆するものであり、酔いを体平衡系の出力である重心動揺や自律神経機能検査の一つである胃電図にて定量的に評価する根拠になり得る。そこで、本論文では映像酔いによる不快感を定量的に評価する生理指標として重心動揺検査と胃電図検査に着目した。

本論文は、全7章より構成される。

第1章は「序論」であり、本論文の背景とその目的について記載している。特に、立体映像視聴時に生じる映像酔いの発生機序について焦点を当て、本論文が目的とする映像酔いの定量的な評価手法の重要性について記載している。

第2章「立体映像に関する知見とその問題」では、両眼視差や水晶体の調節機能、輻輳運動などの基本的な視機能の役割と映像酔いを含む動揺病の発生機序について記載している。特に、動揺病の発生機序については、前庭系、視覚系、体性感覚系、中枢神経系、自律神経系が強く関与していることから、第2章ではこれらの生理学上の役割について述べ、映像酔いの評価手法としての重心動揺および胃電図の妥当性を記載している。

第3章「立体映像の視聴時間の長さが体平衡系に及ぼす影響」では、立体映像視聴時に引き起こされる不快感について、客観的評価指標として体平衡系からの情報の出力である重心動揺検査を用いて実験を行い、その有効性を検証している。また、立体映像視聴の視機能と眼疲労に関する研究では、2D映像視聴時の主な視機能は開始前と比較しても有意差がみられなかったのに対し、立体映像視聴時では開始後60分時点で調節近点の値で開始前に比べ有意な延長および眼疲労を訴える割合の増加がみられている。このことから映像の視聴時間の長さ酔いによる不快感には強い相関があると考えられる。そこで第3章では、立体映像の視聴が重心動揺に及ぼす影響に加え、その視聴時間の長さが体平衡系に及ぼす影響について検証している。その結果、立体映像視聴時では2D映像視聴時に比べ、重心動揺の動揺量が増大し、立体映像による不快感が重心動揺により定量的に評価することが可能となった。また、映像の視聴時間が長くなることで動揺量はさらに増大し、不快感の持続時間が変化すると動揺量も変化する可能性が示された。

重心動揺検査は立位による計測が一般的であり、座位を用いた研究はほとんどない。しかし、乗り物酔いや映像酔いは、座位時に発生する例が多く、また、重心動揺を長時間の間測定する際には立位での測定は不向きである。そこで、第4章「座位を用いた重心動揺検査に関する基礎的検討」では、座位を用いた重心動揺検査の有効性について検討を行っている。重心動揺の検査手法に関する有効性を評価するには、健常な被験者群と平衡機能障害を有する被験者群との比較実験により示されることが多い。しかし、この比較実験では、被験者の確保やデータの再現性について困難をとまうこともある。そこで第4章で

は、アルコール摂取を用いることで平衡機能の低下およびその度合いを人為的に統制し、座位を用いた重心動揺検査の有効性について検討を行っている。その結果、すでに立位で行われている先行研究で得られた知見に似通った結果が得られ、これは、立位において観測されているアルコール摂取にともなう動揺量の変化が座位においても観測され得る可能性を示した。

第5章「長時間立体映像視聴が体平衡・自律神経に及ぼす影響」では、第3章と第4章で得られた知見をもとに、立体映像の長時間視聴が座位を用いた重心動揺検査および胃電図検査に及ぼす影響について検討を行っている。その結果、同時に記録した主観的なアンケート調査で表れている立体映像視聴時から60分時に生じた不快感を重心動揺検査、胃電図検査でそれぞれ定量的に評価することが可能であった。さらに、立体映像視聴が生体に及ぼす影響について重心動揺検査と胃電図検査を同時計測することで、体平衡系の応答速度が消化管運動の応答速度に比べ遅延があることが確認された。

第6章「胃電図を模擬する数理モデルに関する研究」では胃電図を模擬する数理モデルを提案し、実測で得られた胃電図の解析指標と比較することで検討を行っている。胃電図を用いたモデル化は過去にほとんど行われておらず、わずかに行われている先行研究においても、胃における電気伝播を物理学的に記述するもののみである。本論文で用いた数理モデルは非線形確率過程なモデルであるため、線形モデルを対象として一般的に行われている評価方法は適していない。そこで、時系列の非線形性統計指標を用いて、実測胃電図時系列との統計的性質の類似性により評価した。その結果、数理モデルの係数条件を変化させることで、胃電図を模擬する確率微分方程式系の族の要素数を減少させた。

第7章は「結語」であり、本論文を総括するとともに、今後の課題が述べられている。

本論文の目的は、立体映像の視聴が生体に及ぼす影響の定量的な評価方法の検討であり、重心動揺検査と胃電図検査は定量的な評価方法として一定の成果を得た。本論文の成果により、今後の立体映像の安全な視聴や、酔いの評価方法として人間工学・生体医工学での発展に寄与することを期待する。また、今後の課題として動きや背景などといった様々な因子を組み合わせた立体映像のコンテンツを作成し、映像酔いを引き起こす因子について検討を行う。また、本論文では胃電図の数理モデルを提案し、基礎的なパラメータを算出した。これにより、提案する胃電図の数理モデルにおいて、2D映像視聴時および3D映像視聴時でのパラメータを算出し、その値を比較することで、映像酔いの不快感について数学的に検討を行う。

