

論文の内容の要旨

論文題目「眼球運動による人の視覚情報処理機構の研究」

学位申請者 望月 信哉

キーワード：立体視、ステレオアノマリー、オクルージョン、高精細映像、スポーツ応用

本論文では人の視覚特性のうち立体視と視線の動きの研究について述べる。立体視の研究では、オクルージョンと呼ばれる現象と奥行き方向の知覚に関する 2 種類の研究を行った。それぞれ第二章、第三章で詳しく説明するが、オクルージョン研究では左右網膜像の情報が脳でどのような処理がされているかについて眼球運動を測定することから明らかにした。奥行き方向の知覚については立体視が苦手な被験者に対してディスプレイを動かすアクションを与えることで正常な立体視ができるようになる方法を提案し、ステレオアノマリーと呼ばれる人の眼球運動特性について明らかにした。視線は眼球運動と頭部運動の和として知られている。視線の動きの研究について、実際に頭部運動と眼球運動を同時に測定する実験を 2 種類行った、高精細映像に対する研究とスポーツに応用する研究である。こちらも第四章、第五章で詳しく説明する。高精細映像に対する研究では映像技術の発達により 4K、8K 映像が普及し、標準視距離が近づくことで眼球運動だけで画面全体を捉えることが困難となり頭部運動も情報の取得に積極的に利用する必要が生じている。そこで頭部運動の役割、眼球運動の役割について検討した。スポーツへの応用については上記のシステムをスポーツに応用することで熟練者と非熟練者の違いを眼球運動だけでなく、頭部運動も含めて分析し、アスリートの強化に貢献できるようなシステムの開発を行った。

第一章では本研究の概要について触れる、具体的にどのような先行研究があり、本論文に関係する立体視や視線解析について本論文で解析すべき課題について明確にする。

第二章ではオクルージョンについての研究について述べる。オクルージョンとは、手前の物体が奥の物体を隠し、左右の網膜像に異なる画像が投影される状況の事である。このオクルージョンの中でも特に円柱の縁（リム）で発生するリムオクルージョンについて調べた。円柱のリムを見る視線は左右の眼球から円柱へ伸ばした接線上にあり、円柱では左右の視線はそれぞれ異なるリムを見ることになる。白円柱では左右の網膜像の違いが分からないため被験者は気付かないが、円柱テクスチャがあると左右網膜像の不一致に気づき、それを回避するための輻輳眼球運動が生じるはずである。本章では実験を 2 つに分けて行った、初めに、実験 1 として被験者ごとの等輝度を測定するために、被験者に二種類の色（例えば、赤と緑）を提示し、被験者が等しいと感じるまで明るさを変化させる実験を行った。実験 2 として、実験 1 で取得した等輝度のデータを用いて白円柱、等輝度円柱、非

等輝度円柱を作成し、等輝度円柱と非等輝度円柱にはランダムドットのテクスチャをマッピングし、被験者にリムを注視させた。この実験により、外側膝状体における大細胞・小細胞の働きを心理実験により解明することを目的としている。大細胞は主に明るさの変化を扱い、小細胞は主に色度の変化を扱うとされている。等輝度にするにより、小細胞の働きだけを明らかにできる。従来はネコやサルによる生理的な実験もしくはヒトでは磁気共鳴機能画像法（fMRI）を用いた大がかりな実験が行われていたが、眼球運動を用いることにより非侵襲で脳内の処理過程の分析ができると考えた。結果として小細胞が担当する等輝度下でもリムオクルージョンに対する回避行動を輻輳眼球運動の測定によって示すことができ、小細胞の機能を解明するための新たな手法を提案できたと考えている。

第三章では立体視を用いたステレオアノマリーについての研究を述べる。本章では輻輳眼球運動と焦点調節を同時測定することで新たなステレオアノマリーの存在を明らかにした。3D映像だけを見たときに輻輳眼球運動がほとんど変化しなかった被験者が、奥行き方向に移動するタブレット上に3D映像の奥行きの動きを同期させて表示させたとき、輻輳眼球運動が奥行きの動きと一致して変化することを発見した。両眼視差の変化だけでは輻輳眼球運動が駆動できないが、実空間上の奥行移動を組み合わせると輻輳眼球運動を駆動できる新たなタイプのステレオアノマリーの存在を明らかにした。この結果は、脳内の立体視に関わるサブシステムの解明に資するものである。

第四章では超高精細映像を近距離広視野で視聴した時の頭部眼球運動の分析について述べる。本章では高精細映像の4K映像を用いて視聴位置（3条件）と観視距離（3条件）の合計9条件で映像を視聴させ、この時の頭部運動と眼球運動を取得した。視聴位置は画面中央、画面左1/4、画面右1/4として、観視距離は0.75H、1.5H、3Hとした。Hは画面の高さを基準とする。観視距離が3Hから0.75Hに近づくにつれてディスプレイ中央から自身の正面を中心に注視する傾向があることを示すことが出来た。従来の画質評価では複数の被験者がディスプレイの前に並んで評価することがあったが、本実験の結果より実験者は観視距離・視聴位置・コンテンツを考慮する必要があることを明らかにした。

第五章ではスポーツ選手の競技中の頭部運動と眼球運動の測定について述べる。2020年の東京オリンピックパラリンピックに向けてスポーツ選手の強化に注目が集まっている。そこで本章では第四章で提示した頭部運動と眼球運動の同時測定装置を応用し、スポーツ中の選手の視線、頭部、眼球の動きを測定する新たな映像提示方式を示した。今回は野球に焦点を当て、熟練キャッチャーと非熟練キャッチャーの頭部眼球運動を測定した。熟練者は非熟練者と比較し、ボールだけでなく走者などの周りの情報にも注意を向ける傾向が見られた。また、熟練者は非熟練者よりも少ない頭部運動で相手プレイヤーに次の行動を悟られないようにする傾向も見られた。このような特性を分析することでアスリートのパフォーマンス向上の可能性を示唆できたと考えている。

第六章では上記の人の視覚特性に関する研究をまとめ、各分野でどのように貢献できるかを述べる。