

機関番号：17102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20730478

研究課題名（和文） 両眼協調・非協調性眼球運動の測定および三次元環境知覚との関係解明

研究課題名（英文） Revealing the relationship between three-dimensional perception and binocularly correlated and uncorrelated eye movements

研究代表者

光藤 宏行 (MITSUDO HIROYUKI)

九州大学・大学院人間環境学研究院・講師

研究者番号：00426644

研究成果の概要（和文）：眼球運動として回旋輻輳と両眼サッカドを取り上げ、これらの眼球運動が起こるときでも安定した3次元知覚世界を得る仕組みを明らかにすることを目的とした。この目的を達成するため、両眼の3次元眼球運動測定と心理物理学的な行動測定を組み合わせ、成人を実験参加者とする実験を行った。実験結果から、安定した3次元知覚世界の保持を実現する仕組みの解明の手がかりを得た。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to reveal mechanisms for obtaining the representation of the stable three-dimensional world, despite of binocular eye movements. The binocular eye movements examined here were cyclovergence and binocular saccades. I measured both binocular eye movements and three-dimensional perception for normal adult observers. Based on the results, I discussed the mechanisms for maintaining stable visual perception.

交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2008年度 | 1,500,000 | 450,000 | 1,950,000 |
| 2009年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 2010年度 | 500,000   | 150,000 | 650,000   |
| 総計     | 3,100,000 | 930,000 | 4,030,000 |

研究分野：視覚情報処理

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：眼球運動、奥行き知覚、両眼立体視、運動視

## 1. 研究開始当初の背景

眼球運動制御系を含めた人間の視覚系を考えると、視覚系に課せられた重要な課題の一つは、各眼位置を3次元的に制御しつつ、安定した3次元視覚世界を構築することである。眼球運動と知覚の関係を調べた先行研究においては、そのほとんどが水平・垂直眼球運動を扱い、また単眼視事態を扱ってきた。申請者は平成19年度までの研究において、固視仰角（眼球の垂直位置偏位）に依存して平面図形が立体的に見える錯視を報告し（Mitsudo, 2007, *Vision research*）、両眼の

回旋（視軸まわりの眼球回転）の位置ずれを知覚的に補正するメカニズムが画像特徴に依存し働いていることを示唆する結果を得た。

これらの知見をふまえ本研究では、両眼協調眼球運動のうち、回旋輻輳（両眼間で逆方向の視軸まわりの眼球運動）および両眼サッカド（水平または垂直の同方向の高速眼球運動）を取り上げる。申請者は平成19年度、両眼の回旋眼球運動が両眼立体視にどのような影響を及ぼすか調べる実験を、カメラのみ従来のシステムを流用して行った。新しい計測システムでは、両眼位置測定の精度を高

めることにより、両眼サッカーの正確な測定にも対応することを目指す。このシステムを利用し、以下の二つのサブテーマごとに実験を行うことを計画している。

## 2. 研究の目的

本研究では、両眼協調運動として回旋輻輳と両眼サッカーを取り上げ、これらの眼球運動が起こるときでも安定した3次元知覚世界を得るメカニズムを明らかにすることを目的とする。この目的を達成するため、両眼の3次元眼球運動測定と心理物理学的な行動測定を組み合わせた、成人を実験参加者とする実験を行う予定である。両眼の3次元眼球運動測定を行うために、CCD (Charge Coupled Device) カメラを用いた眼球映像撮影装置を構築し、画像処理に基づき水平・垂直・回旋眼球位置、および瞳孔径の時系列データを推定する。

### (1) 回旋輻輳と両眼立体視 (回旋輻輳実験)

通常の眼球輻輳は水平方向の両眼の逆方向回転を指すが、サーチコイル法を使った先行研究によると、視軸まわりの回転 (回旋) についても逆方向に回転することが報告されている (回旋輻輳)。射影幾何学を考慮すると、眼球位置に関わらず正確な両眼対応を行って安定した3次元視覚世界を構築するためには、視覚系は回旋輻輳状態をモニターする必要がある。この実験では、前年度報告した回旋輻輳状態に応じて平面図形が立体的に見える錯視が起こる刺激条件および3次元眼球位置を詳細に調べる。具体的には、視覚系が回旋輻輳をどのように補償して両眼対応を行っているかを明らかにすることを目的とする。特に、画像特徴成分によって回旋輻輳を補償する機構が働く条件を明確にする。

### (2) 両眼サッカーと運動知覚 (サッカー実験)

サッカーとは両眼が同方向に高速に動くことを指す。サッカーによる網膜像の変化が意識に上らないのは、サッカー抑制という機能が働いているからであると考えられている。サッカー抑制は視界の安定に役立つ機構と考えられているが、サッカー抑制の信号は各眼について独立に出ているのか、両眼同時なのかは明らかではない。本研究ではステレオスコープを使って、両眼に異なる画像を与えたときのサッカーを記録し、サッカー運動による運動知覚が起こるかどうかを調べる。予備の実験では、刺激輝度および空間パターンが両眼間で異なる場合に、運動錯覚が起こることを見いだしている。本実験ではこの現象を通して、サッカー抑

制信号と実際の眼球運動が同期していることが視界の安定に決定的に重要であるという仮説を検証する。

## 3. 研究の方法

平成20年度は、眼球運動測定装置と両眼刺激呈示装置を組み合わせたシステムを構築し、予備データを得る。両眼刺激の刺激呈示装置は既存のものを流用し、また刺激パラメータについてはすでに予備的なデータを得ているため、精度の高い眼球運動測定装置の構築に重きをおく。平成21年度および22年度は、二つのテーマ (回旋輻輳実験およびサッカー実験) についての本実験を行う。

### (1) 平成20年度計画

眼球運動測定装置と両眼刺激呈示装置を組み合わせたシステムを構築し、予備データを得る。両眼刺激呈示には、視覚刺激生成を行うパーソナル・コンピュータと立体視鏡を組み合わせた安価でかつ信頼性の高い方法を用いる。いずれのサブテーマ (回旋輻輳実験およびサッカー実験) においても両眼の3次元位置および運動タイミングを知ることが重要であるため、パソコンからの視覚刺激信号を重畳して眼球映像を両眼で撮影し、オフラインで解析することを予定している。以下に眼球運動測定装置の概要を述べる。

両眼の協調運動を測定するために、画像処理に基づく眼球運動測定装置を製作する。従来3次元眼球運動 (水平・垂直・回旋) は眼球に直接コイルを装着するサーチコイル法が使われてきた。しかしこの方法は実験参加者および彼らの眼球への負担が大きく、かつ長時間測定できないという欠点がある。申請者は、近年使用が増えている画像処理に基づく眼球運動解析装置を、比較的安価な市販のカメラと記録媒体を組み合わせる。具体的には、赤外LED照明を組み合わせた小型CCDカメラを各眼について用意し、反射光波長選択性をもつコールドミラーなどを用いて眼球映像を測定する。反射鏡を使用するので比較的大きな視覚刺激を呈示しつつ、それに対する3次元眼球運動を測定できる。瞳孔径も同時に測定できるため、網膜照度についても考慮することができる。

画像処理から眼球の3次元位置を計測する方法では、まず瞳孔位置から各眼の水平・垂直位置を決定し、その後虹彩紋理の回転から回旋位置を算出する。計算は動画の各フレームについて行い、その後両眼成分を算出する。計算アルゴリズムは以前申請者が予備的に開発したソフトウェアを改良し、自動計算の高速化をはかる。

### (2) 平成21年度計画

前年度に開発した眼球運動測定装置を用い、心理物理学的手法を組み合わせた実験を二つのサブテーマごとに行う。平成 21 年度は主に回旋幅験実験を行う。回旋幅験実験では、回旋幅験を誘導する視覚刺激を両眼立体視図形と重ねて提示し、そのときの見えと眼球映像から計算される回旋幅験量を測定する。具体的には、回旋像差をもつランダムドットなどによって回旋幅験を誘導し、両眼対応が曖昧な刺激を重ねて提示する。同時に測定される知覚的奥行きと回旋幅験量と比較し、両眼立体視機構が回旋幅験による影響をどのように補正しているかを明らかにする。その後、眼球位置の補正を考慮に入れた両眼対応モデルを提案する。

### (3) 平成 22 年度計画

両眼サッカド実験では、回旋幅験実験と基本的に同じ装置を使い、ただし異なる視覚刺激を用いて、運動知覚および両眼のサッカドを測定する。刺激は基本的に静止した刺激であり、随意および不随意のサッカドを分析の対象とすることを計画している。両眼間での刺激輝度および要素のサイズなどを操作し、運動知覚が得られる刺激条件とそのときのサッカドのタイミングの両眼間時間差があるかどうかを調べる。これにより、サッカド抑制信号が両眼性なのか単眼性なのかを明らかにすることができる。これらの結果に基づき、サッカドを考慮した運動知覚の神経機構モデルを提案する。

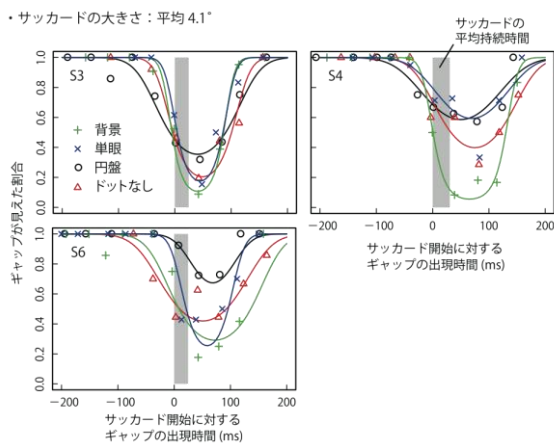


図 1 サッカド抑制実験の結果

## 4. 研究成果

回旋幅験の実験については、視覚刺激の種類によっては回旋幅験の量と見かけの奥行きが相関することを発見した (Mitsudo, Kaneko, & Nishida, 2009)。加えて、それを

実現する計算論的モデルも構築した。

両眼サッカドの実験については、両眼分離提示の条件で見かけの運動が知覚される錯視を発見した (Mitsudo & Nakamizo, 2010)。この実験では眼球運動の両眼間のずれ量およびサッカド抑制量も測定したが、ずれの量およびサッカド抑制いずれの効果とも見かけの運動とは関係していなかった (図 1)。この結果は、見かけの運動はサッカドによる画像位置移動を補正する神経機構の誤作動を反映していることを示唆する。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 光藤宏行, サッカド眼球運動と知覚的安定, 九州大学心理学研究, 査読無, 12 巻, 2011, 61-68
- ② Mitsudo, H., Nakamizo, S., Illusory motion produced by dichoptic stimuli during saccades, Perception, 査読有, Vol. 39, No. 12, 2010, 1591-1605
- ③ 光藤宏行, 両眼立体視における尤度計算, 九州大学心理学研究, 査読無, 11 巻, 2010, 57-62
- ④ Mitsudo, H., Kaneko, H., Nishida, S., Perceived depth of curved lines in the presence of cyclovergence, Vision Research, 査読有, Vol. 49, No. 3, 2009, 348-361

[学会発表] (計 7 件)

- ① 光藤宏行, 速さの錯覚：見かけの運動速度の分離と統合, 九州心理学会第 71 回大会 (長崎市), 2010. 11. 06.
- ② 光藤宏行・酒井 歩・金子寛彦, 水平像差と垂直像差の統合の仕組み, 日本視覚学会 2010 年夏季大会 (横浜市), 2010. 08. 03.
- ③ 光藤宏行, 両眼対応の尤度計算, 九州心理学会第 70 回大会 (佐賀市), 2009. 12. 05.
- ④ Mitsudo, H., & Nakamizo, S., Perceiving transsaccadic motion, 32nd European Conference on Visual Perception (Regensburg, Germany), 2009. 08. 28.
- ⑤ 光藤宏行・中溝幸夫, 視野の安定とサッカド抑制, 日本認知心理学会第 7 回大会 (新座市), 2009. 07. 20.

⑥ 光藤宏行, 両眼運動と運動錯覚, 日本心理学会第 72 回大会 (札幌市), 2008. 09. 19.

⑦ 光藤宏行, 両眼運動と視野安定機構 (横浜市), 日本視覚学会 2008 年夏季大会, 2008. 08. 04.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

光藤 宏行 (MITSUDO HIROYUKI)

九州大学・大学院人間環境学研究院・講師

研究者番号：00426644