

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500382

研究課題名(和文) 陰影による三次元運動視のメカニズムの研究

研究課題名(英文) Motion perception in depth induced by cast shadow.

研究代表者

勝山 成美 (Narumi, Katsuyama)

東京医科歯科大学・医歯(薬)学総合研究科・助教

研究者番号：00291906

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：我々は床や壁に映った影(キャストシャドウ)によって、物体の位置や動きを知ることができる。しかし、このようなキャストシャドウによる奥行き知覚が脳のどこで、どのように処理されているのかはわかっていない。そのため我々は、機能的MRI実験によってヒトがシャドウから物体が奥行き方向に動いて見える錯視動画を見ている時に活動する脳部位を調べた。その結果、MT野、V3A野、および右の後部頭頂間溝など、後頭葉から頭頂葉に至る視覚野が活動することがわかった。さらに我々は、サルに同じ動画を見せ、サルもヒトと同じようにシャドウから奥行き知覚を得ていることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Cast shadow is a salient monocular depth cue. In the present study, we investigated which cortical areas are involved in depth perception by moving cast shadow with functional MRI technique. A movie of a motion illusion was presented to participants. They were required to discriminate the perceived motion in depth (approaching and receding) of a square induced by its moving shadow cast on the background. The fMRI result showed activation in the bilateral hMT, V3A, and the right posterior intraparietal sulcus. Activation in these areas was also observed during discrimination of approaching and receding of a square represented by binocular disparity. These results suggest that cortical areas in the dorsal pathway may be involved in the integration of binocular and monocular depth cues and motion perception in depth induced by cast shadow. We have also revealed that macaque monkeys have depth perception by cast shadow by behavioral study.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：脳神経科学・神経科学一般

キーワード：奥行き知覚 キャストシャドウ 機能的MRI 背側経路 サル

### 1. 研究開始当初の背景

物体によって光が遮られ、壁や床に投射した影のことをキャストシャドウという。我々は日常生活のさまざまな場面でキャストシャドウを見ているが、このキャストシャドウは、物体の空間的な位置や動きを知る重要な手がかり（絵画的、または単眼性奥行き手がかり）として機能していることが明らかになっている。このことを劇的に示すのが、**Square-over-checkerboard (SOC)** と呼ばれる錯視動画である。図1に示すように、画面中央に正方形があり、そのキャストシャドウがチェッカー模様背景の上に投射している。キャストシャドウが正方形から離れるように右斜め方向に動くと（図1左→右）、正方形は背景から浮き上がり、観察者の方に接近するように見え、シャドウが正方形に近づくと（図1右→左）、正方形は観察者から離反するように見える。正方形の位置と大きさは変化していないにもかかわらず、キャストシャドウが二次元面内を運動すると、正方形が奥行き方向に動いて見えるのである。この錯視の効果は強力で、正方形に両眼視差を与えて立体視を行なわせ、シャドウによって正方形が接近して見えるが、両眼視差によっては離反して見える（あるいは、この逆の組み合わせ）ようにすると、多くの被験者が両眼視差ではなく、キャストシャドウによる正方形の動きを知覚する。このようにキャストシャドウは有効な奥行き手がかりとして機能し、我々は日常、キャストシャドウを使って物体の空間的な位置や動きを知覚しているものと考えられる。

キャストシャドウによる奥行き効果は強力で、「正方形は二次元イメージであり、その位置も大きさも変化がない」という知識をもって図1を眺めても、正方形が浮き上がって知覚される。このことから、キャストシャドウによる奥行き知覚は強固な神経基盤をもつものと予測されるが、それが我々の脳のどこにあるのかを含めて、その実態はほとんどわかっていない。

### 2. 研究の目的

上記の背景をふまえ、本研究では以下の項目の解明をめざした。

(1) キャストシャドウによる奥行き知覚が処理されている脳部位の解明

まず、上で述べたような、キャストシャドウによる奥行き知覚が我々の脳のどこで処理されているのか、またその部位は両眼視差による奥行き知覚と同じ部位なのかを、機能的MRI実験によって明らかにしようとした。

(2) キャストシャドウによる奥行き知覚の生理的なメカニズムの解明

上記の実験によって、キャストシャドウによる奥行き知覚が処理されている脳部位が明らかになったら、その部位に存在する神経

細胞の反応様式を明らかにする。これは人間を対象とした実験では不可能であるので、人間ときわめて近い視覚機能を持ち、また両眼視差による立体視が行なえることがわかっているマカクザル（ニホンザル）を使った電気生理実験によって明らかにしようとした。

三次元空間で生活する人間にとって、奥行き知覚はきわめて重要な脳機能である。したがって本研究の成果は、人間の視覚機能を解明する基礎的な知見として評価できるものと思われる。また、脳の損傷による両眼立体視機能の障害は、単眼性奥行き手がかりによる補償によって生活に重篤な支障を来さないため、従来見過ごされがちであった。本研究の成果はそのような患者さんの新たなスクリーニング法の開発や、視能訓練などのリハビリ法に科学的な根拠を与え、新たな技法や評価法の開発につながる可能性がある。一方、キャストシャドウや陰影などはCGやアニメーション、3D映画等で映像に立体感をもたせるためにさかんに利用されている。これらはクリエイターの経験と勘に頼って製作されている側面が大きいが、本研究の成果はそのような方法に科学的な根拠を与え、よりリアリティのある技法の開発にも役立つものと思われる。

### 3. 研究の方法

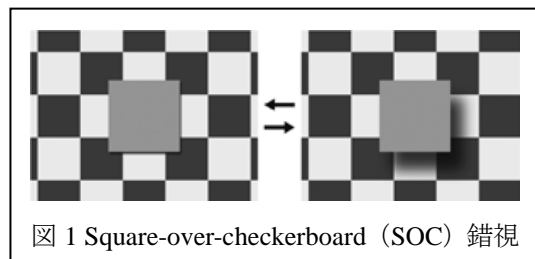


図1 Square-over-checkerboard (SOC) 錯視

(1) キャストシャドウによる奥行き知覚が処理されている脳部位の解明

機能的MRI実験を行なった。18名の健康者（平均年齢：24.3歳）が被験者として実験に参加した。被験者は全員右利きであった（平均エジンバラ利き手スコア：83.3）。図1に示すような、SOC錯視の動画をコンピュータグラフィクスによって作成し、MRIスキャナ内のヘッドコイル上に設置したスクリーンにプロジェクタから投影した。被験者はスキャナ内に仰臥して動画を観察した。

SOC錯視の動画では、シャドウの動き幅を3段階に設定した。被験者は右手に回答用のスイッチを持ち、動画を見て正方形の浮き上がる程度を、1、2、3のうちどれかのボタンを押して評価してもらった（大きく浮き上がって見えるほど、大きな数字のボタンを押す）。この時の脳活動を機能的MRIによって観察し、キャストシャドウによって正方形がより浮き上がって観察されている時に、それと関連して活動の高まっている脳部位を探索した。

一方、ランダムドット ステレオグラム (RDS) によって、SOC 錯視で呈示される正方形と同じ大きさの正方形が両眼視差によって浮き上がって見える動画も呈示した。視差を3段階に調節し、被験者には知覚された正方形の浮き上がりの程度を評定してもらった。SOC 動画の際と同様に、正方形が大きく浮き上がって観察されたときほど、1、2、3のうち、大きな数字のボタンを押してもらった。この課題を行なっている時の脳活動を機能的MRIによって調べ、キャストシャドウの条件と同様に、両眼視差によって正方形がより浮き上がって見ると被験者が回答した時に、それと相関して活動の高まっている脳部位を探索した。

#### (2) キャストシャドウによる奥行き知覚の生理的なメカニズムの解明

機能的MRI実験により、SOC錯視による奥行き判断を行なっている時には、両側のMT野、V3A野、および右の後部頭頂間溝に有意な活動が見られた。興味深いことに、両眼視差によって正方形が浮き上がって見えている時にも、これらの部位に有意な活動が観察された。

しかし、これらの領野においては、同一のニューロンがキャストシャドウと両眼視差による正方形の奥行き方向の動きに反応しているのか、あるいはシャドウと両眼視差による奥行き方向の動きに特異的に反応するニューロン群は別であり、両者が混在しているのかは、機能的MRI実験だけではわからない。この問題を解決するためには、ヒトと近い視覚機能をもつサルを使い、その大脳皮質からニューロン活動を記録することが最適の方法である。そのため、我々は電気生理実験を行なうことにした。

先行研究によれば、サルもヒトと同じように両眼視差によって立体視を行なっていることが明らかになっている。しかし、キャストシャドウから奥行き知覚を得ているかどうかは不明である。そのため我々は、電気生理実験に先立って、サルもキャストシャドウから奥行き知覚を得ているかどうかを、行動実験によって調べることにした。この実験は、以下の2段階で行なった。

① 両眼視差による奥行き弁別課題：ヒトの機能的MRI実験に用いたのと同様のSOC錯視動画を用意した。しかし、キャストシャドウがなく、中央の正方形に両眼視差を付与した。サルに専用の液晶シャッター眼鏡をかけさせると、正方形が奥行き方向に接近・離反して見えるはずである。ニホンザルに、もし正方形が接近して見えたならGO反応、離反して見えたなら遅延GO反応をするような奥行き弁別課題を訓練した。

② キャストシャドウによる奥行き弁別課題：サルが両眼視差による奥行き方向の動き弁別課題を行なっている時に、両眼視差ではなく、キャストシャドウの動きによって正

形が奥行き方向に動いて見える動画（本来のSOC錯視動画）を、全体の10%の試行に、ランダムな順番で呈示した。もし、サルがキャストシャドウによって奥行き知覚を得ているならば、両眼視差の場合と同様、キャストシャドウによって正方形が接近して見える刺激にはGO反応を、離反して見える刺激には遅延GO反応をするはずである。

#### 4. 研究成果

(1) キャストシャドウによる奥行き知覚が処理されている脳部位の解明

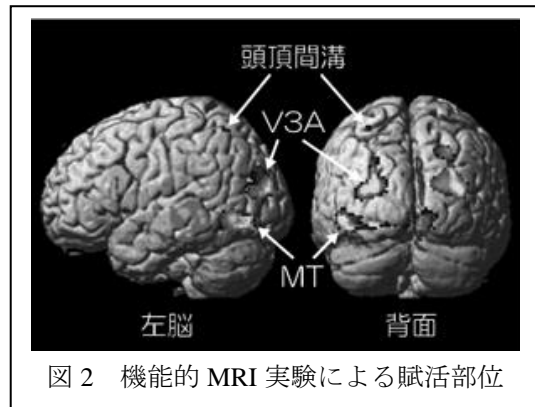


図2 機能的MRI実験による賦活部位

機能的MRI実験の結果、SOC錯視による奥行き判断を行なっている時には、両側のMT野、V3A野、右の後部頭頂間溝に有意な活動が見られた(図2参照)。これらはいずれも、背側経路と呼ばれる諸角情報処理経路に属する領野である。一方、RDSによる奥行き判断課題でも、同じ領野に活動が見られた。以上の結果から、これらの領野はキャストシャドウと両眼視差による奥行き判断の両方で共通に活動することが示された。

これらの領野は、ヒトによる機能的MRI実験やサルによる電気生理学実験によって、いずれも動きや奥行き知覚に応答する脳部位として知られていることから、キャストシャドウによる物体の奥行き知覚はこれらの領野において行なわれていることが示された。また、キャストシャドウによる奥行き知覚には、視覚野の背側経路が関与することが示唆された。しかし、研究の方法の項でも述べた通り、この実験のみでは、これらの領野に両眼視差とキャストシャドウによる奥行き方向の動きの両方に反応するニューロンが存在するのか、あるいはこれらに反応する別のニューロン群が混在しているのかはわからない。これについては、サルにおける電気生理実験で調べることができる。また、これらの領域のどれがキャストシャドウの二次元的な動きを処理し、どこが正方形の奥行き方向の動きに選択的に応答するのも正確には知ることができない。この点は、今後の課題である。

(2) キャストシャドウによる奥行き知覚の生理的なメカニズムの解明

① 両眼視差による奥行き弁別課題：サルは90%以上の正答率を示した(図3a)。正方形の形(円形や三角形)や色(緑、青、赤など)を変えたり、また正方形を注視点の上下左右、斜め方向に呈示したりしても成績が変わらなかったことから、サルが両眼視差のみを手がかりとして、正方形の接近と離反の動きを弁別していることを確認した。

② キャストシャドウによる奥行き弁別課題：サルは両眼視差による刺激と同様に、キャストシャドウによって正方形が接近して見える刺激にはGO反応を、離反して見える刺激には遅延GO反応を行なった。その正答率は90%を越え、両眼視差の場合と差がなかった(図3b)。また、正方形の形や呈示場所を変えても成績に変化が見られなかった。以上のことから、サルもヒトと同様に、キャストシャドウによって奥行き知覚を得ていることが行動的に明らかになった。

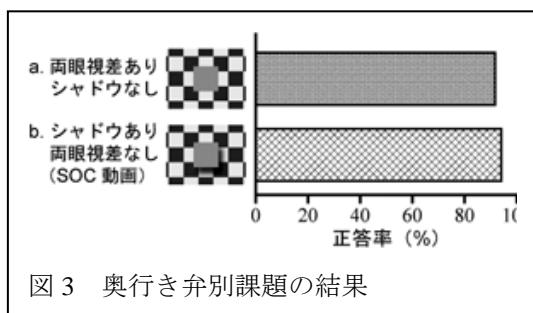


図3 奥行き弁別課題の結果

この後、サルにおいて電気生理実験を行なう予定であったが、機能的MRI実験のデータ解析とサルの行動実験、とりわけキャストシャドウによる動き弁別課題の訓練に予想外の時間がかかってしまい、電気生理実験を行なうには至っていない。

## 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 1 件)

1. 勝山成美 (2013) 『人間の視覚情報処理—陰影による奥行き知覚の例—』『映像情報メディア学会誌』Vol. 68, No. 1: 46 - 51. (査読無し。読者による投票の結果、同号のベストオーサーに選出される)

[学会発表] (計 3 件)

1. 水谷真之、勝山成美、臼井信男、水澤英洋、泰羅雅登(2014) サルにおける moving cast shadow による奥行き知覚について (第 6 回東京医科歯科大学 CBIR 若手インスパイアシンポジウム、2014 年 2 月 2 日、東京都文京区)

2. 勝山成美、臼井信男、野瀬 出、泰羅雅登 (2013) キャストシャドウによる奥行き知覚における光源方向の推定 (第 36 回日本神経科学大会、2013 年 6 月 20 日、京都府京都市)

3. 勝山成美、臼井信男、泰羅雅登 (2011) Square over checkerboard 錯視における奥行き知覚のメカニズム (第 34 回日本神経科学大会、2011 年 9 月 16 日、神奈川県横浜市)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

勝山 成美 (Katsuyama Narumi)

東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科助教

研究者番号：00291906