

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26870590

研究課題名(和文) 両眼間距離の違いが生む視知覚と視覚認知の個人差

研究課題名(英文) Individual differences in visual perception and visual cognition caused by the difference in inter-ocular distance.

研究代表者

田谷 修一郎 (TAYA, Shuichiro)

慶應義塾大学・法学部(日吉)・講師

研究者番号：80401933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：我々の身体が視覚の情報処理過程においてどのように用いられているか、一連の心理物理実験によって検討した。この結果、網膜像差に基づいて外界の奥行きを復元するには両眼(瞳孔)間距離の情報が利用されていること、身体の可動範囲が身体の見えかたに影響することなどが明らかとなった。これらの結果は、本質的に曖昧である網膜像を解釈する際の枠組みとして観察者自身の身体が用いられていることを示し、視知覚の研究においても身体の影響を考慮に入れることが重要であることを示唆する。

研究成果の概要(英文)：The role of the body in visual information processing was examined by psychophysical experiments. The results revealed that our visual system uses the information of the inter-ocular/inter-pupil distance to comprehend the depth (3D structure) of the external world based on binocular retinal disparity. It was also found that the body's movement range restricts the function of constancy scaling, which leads to a distortion in the appearance of the body shape. These results suggest that our body plays an important role as a framework for interpreting ambiguous retinal images, and thus, it is important for studies of visual perception to take the influence of the body into consideration.

研究分野：実験心理学(知覚・認知)

キーワード：奥行き知覚 立体視 錯視 個人差 両眼間距離 瞳孔間距離 奥行き手がかり 3D

## 1. 研究開始当初の背景

視覚は網膜に投影された外界の像(網膜像)に基づいて外界を復元する過程である。しかし外界が「縦×横×奥行き」の三次元空間であるのに対し、網膜像は奥行き次元の欠けた二次元像であるため、或る形、大きさの網膜像を生み出し得る外界の物体の形と大きさは無数に存在する(「不良設定問題」Poggio et al., 1985)。このため網膜像は本質的に曖昧な情報とならざるを得ない。この観点から、視覚とは多義的で幾つもの解釈が可能な絵(網膜像)に対し、解釈をひとつに定める過程とみなすことができる。

網膜像を解釈するための「枠組み」として、私たちは外界の特定の三次元構造と網膜像との間の比較的安定した対応関係を利用している。例えば世界に存在する物体の大半は不透明であるが、この「枠組み」から、視野内で重なるふたつの物体のうち、覆い隠す方が手前にあり、隠される方が奥にあるという解釈が可能となる。

このような網膜像を解釈するための枠組みは、学習によって更新されることが知られる。例えば光源方向を頭上に仮定することは陰影から奥行き(凹凸)を復元するために不可欠な枠組みであるが、この「上方光源の仮定」は、観察者が光源方向の異なる環境にしばらくおかれることで更新される(すなわち、仮定される光源方向が変化する)ことが知られている(Adams et al., 2004)。このように、私たちの視覚系は環境に応じてより適切な枠組みを採用する柔軟性を有している。

知覚過程において、私たちの身体は、外界と直接やりとりをするためのインターフェイスであると同時に、四六時中我々を取り囲む最も身近な環境でもある。先述の通り、脳は柔軟に環境に適応するが、もし我々の知覚が環境としての身体に適応的にチューニングされているならば、私たちの身体は私たちのものの見方を決める枠組みとなるはずである。しかし従来の視覚研究では視知覚と身体の関係についてはほとんど扱われてこなかった。

## 2. 研究の目的

本研究の大枠の目的は、我々の身体が我々の知覚の枠組みとしてどのように使われているかを明らかにすることである。この目的の下、大別して3種の研究を行った。一つ目の研究では両眼間距離が立体視の個人差に及ぼす影響について検討した。二つ目の研究では、両眼間距離が錯視量の個人差に及ぼす影響について検討した。三つ目の研究では、身体の可動範囲が、大きさ(形)の恒常性に及ぼす影響について検討した。以下にそれぞれの詳細を示す。

## &lt;両眼間距離と立体視&gt;

我々のふたつの目は左右に平均して約 6cm 離れており、このためにそれぞれの目に投影される網膜像にはわずかながらズレ(網膜像

差)が生じる。網膜像差の大きさと方向は外界の奥行き大きさと方向との間に対応関係を持ち、このために網膜像差は外界の奥行きを復元するための手がかりとなる。

網膜像差は有力な手がかりではあるが、この情報だけでは奥行きを一意に特定することはできない。これは、以下に説明するように、物体から得られる網膜像差の大きさが物体の奥行き量と一対一には対応しないためである。

或る奥行き量  $d$  の物体がもたらす網膜像差の大きさは、視距離  $D$  および観察者の両眼間距離  $I$  の関数として次のように記述できる(中溝・下野, 2001; Ono & Commerford, 1977)。

$$\delta = \frac{Id}{D(D+d)} \quad (\delta \text{はラジアン単位}) \quad (1)$$

式(1)は外界の物体から得られる網膜像差の大きさが観察者の眼間距離に比例し、( $D$  に対して  $d$  が十分に小さい時)視距離の自乗に反比例することを意味している。外界の奥行き量と網膜像差の大きさが一対一に対応しないことはこの式から明らかであろう。

また式(1)より、奥行き量  $d$  が等しい物体を等距離( $D$ )で観察したとしても、眼間距離が大きな観察者  $L_i$  は眼間距離が小さな観察者  $S_i$  よりも大きな網膜像差を得ることがわかる。このことはつまり外界のヴェリディカル(veridical)な奥行きを知覚しようとする場合、観察者  $L_i$  と  $S_i$  では網膜像差から外界の奥行きを換算する際のスケーリング・ゲイン(倍率)を異なるように調節する必要があることを意味する。より具体的には、眼間距離が小さくなるほど、同じ大きさの網膜像差からより大きな奥行きを復元するようにゲインの調整を行う必要がある。

このような眼間距離に応じたゲイン調整を視覚系が実際に行っていた場合、次のふたつのが予測できる。ひとつは、実物体に知覚される奥行き量は観察者の眼間距離とは相関しないということである。もうひとつは、ステレオグラムのような網膜像差が固定された刺激を同じ距離で観察するときには、物理的には同じ刺激を見ていたとしても観察者の眼間距離が大きくなるほど知覚される奥行き量は小さくなるということである。本研究はこの予測を確かめることを目的とした。

## &lt;両眼間距離と錯視量の個人差&gt;

知覚心理学の研究では通常、代表値(平均)のみに着目した議論がなされるため、あまり注目されることはないが、錯視量には個人差がある。この個人差が生じる理由はよくわかっていないが、以下に述べるように両眼間距離の個人差が錯視量の個人差の一因となる可能性がある。この仮説を検討することが本研究の目的であった。

両眼間距離が錯視量を左右し得ると考える根拠はふたつある。理由のひとつは多くの錯視が三次元空間の知覚に由来すると考えられるためである。回廊錯視(図 3c)はその分か

りやすい例であるが、この錯視は、画像平面上で同じ大きさに描かれたふたつの物体のうち、遠くの球体の方が大きく知覚されるというものである。このような錯視が生じるのは、ふたつの物体の網膜像の大きさが等しい場合、遠くに定位された一方が距離にもとづく「換算」の結果、より大きいと「正しく」判断されるためと説明される（この換算処理を「スケーリング」と呼ぶ）。同様の説明はミュラー・リヤー錯視（図 3a）やポンゾ錯視（図 3b）にも適用できる。すなわち、これらの錯視図形に含まれる斜め線分が遠近法の手がかりとして処理され、スケーリングの働きにより図形の見かけの大きさが異なって知覚されるというわけである。この仮説に従えば、錯視量は遠近法に対する感度の高さと関連しそうである。ところで通常、ひとつの場面/物体には複数の奥行き手がかりが利用可能であり、それらを統合してひとつの奥行きが知覚されるが、その統合の仕方には個人差がある。例えば両眼網膜像差と遠近法が同時に利用可能な場面では、ある個人は網膜像差を重視するが、別の個人は遠近法を重視して奥行きを見積もる。同一物体を観察する際に得られる網膜像差の大きさは、両眼間距離と正相関の関係にあるため、例えば、線遠近法手がかりと両眼網膜像差が同時に利用可能な場面では、両眼間距離が大きな個人は網膜像差を、これが小さな個人は遠近法を重視するといった違いがあるかもしれない。そうであれば、両眼間距離が小さな個人は遠近法により感度が高く、それは錯視の強度に反映されるかもしれない。以上がまず第 1 の理由である。

両眼間距離が錯視量を左右し得ると考えるふたつ目の根拠は、単眼遮蔽領域の補正が錯視の原因であると考えられることである（Otsuka & Ono, 2002）。例えばカニツァ縮小錯視（図 3d）は縦長の長方形が背景の四角形を遮蔽している場面とみなすことができるが、こうした場面を両眼で観察する場合、遮蔽物が覆い隠す背景領域は右目と左目で異なっており、右目の網膜像には左目の網膜像に無い領域が、左目の網膜像には右目の網膜像に無い領域が存在する（単眼遮蔽領域）。そのためこのような状況下で両眼の網膜像を単純に足し合わせてしまうと、背後に隠された四角形の幅は実際よりも横長となってしまう、都合が悪い。この不都合を解消するため視覚系は両眼網膜像の足し合わせによって生じる単眼遮蔽領域の幅の増分をキャンセルする補正を行っていると考えられる。この補正の働きは三次元空間において遮蔽・非遮蔽の物体を観察する際には適切であるが、二次元平面上に表現された遮蔽・非遮蔽の物体に適用されると、非遮蔽物の方の大きさが実際よりも小さく知覚されるという錯視を生むことになる。

このような補正の働きがカニツァ錯視を生み出していることが過去の研究で示されている（Mitsudo & Nakamizo, 2005）。また、ポゲ



図 1 「蛙の手」錯視 右の写真は左の写真を上逆さにしただけだが、極端に指の短い歪な形の手が知覚される。

ンドルフ錯視（図 3e）にも同様の説明が適用可能である（斜め線が手前の面によって遮蔽されている状況であるとみなせば、同様の補正が働き、線の連続性が見かけ上歪められるということである）。

さて上記のような半遮蔽領域の補正が錯視のメカニズムだとすると、両眼間距離はカニツァ錯視・ポゲンドルフ錯視の錯視量を左右する可能性がある。なぜなら、左右眼に生じる単眼遮蔽領域の大きさは、観察者の両眼間距離の大きさに比例するためである。もし生じる単眼遮蔽領域の大きさに合わせた補正を視覚系が行っていれば、カニツァ錯視やポゲンドルフ錯視の効果は両眼間距離が大きな個人ほど大きいことが予測できる。

#### <身体の可動範囲と恒常性>

私たちの目に映る外界の物体の大きさは視距離に依存し、おおまかには距離が 2 倍になると網膜像のサイズは 1/2 となる。このような網膜像サイズの急激な変化に対し、私たちの知覚する外界の物体の大きさは比較的安定している。このことを「大きさの恒常性」と呼ぶ。大きさの恒常性は、物体の網膜像の大きさが物体までの距離を考慮してスケーリングされる結果成立する現象であると考えられている。

筆者は最近、ある条件下で撮影・観察した手の画像において大きさの恒常性が成り立たないことを示す現象を発見した。「蛙の手」錯視と名付けられたこの現象は、遠方に指を伸ばした手の甲の写真を上下逆さに呈示すると、指が極端に短い歪な形の手に見える、というものである（図 1）。

この錯視は、身体像の大きさに対するスケーリングの働きが、非典型的な観察条件下では不適切に適用されることで生じる現象だと考えられる。日常場面において、指が遠方に向けられた手の甲を上下逆さに観察することは極めて稀である。そのような形で自身の手を観察するには、腕を捻ったかなり不自然な姿勢をとる必要がある（図 2a）。網膜像上で指が下向に向いた手の甲を見るのは、通常手を真っ直ぐ下に向けている他者を見るときか、あるいは向かい合って座った相手の手が机の上などに置かれたときである（図 2b）。これらの場面では指の前後関係が、「蛙の手」錯視場面とは異なることに注目されたい。つまり、

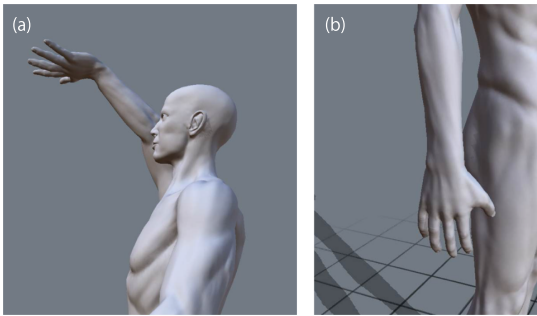


図2 (a)「蛙の手」錯視の生じる状況下の手と身体。手を捻った不自然な体制をとらないと、手の網膜像は図1右のように指の方が手の甲より遠い位置には映らない。(b)図1右のような網膜像が生じる場合に想定される典型的な姿勢のひとつ。指はまっすぐ降ろされており、手の甲と指はほぼ等距離にある。

網膜像上で甲を向けた手の指が下を向いている時、殆どの場合指は手の甲とほぼ等距離にあるか、あるいは指のほうが手の甲よりも近くにある。こうした見慣れた距離関係にもとづきスケーリングを行うと、指が短い手が知覚されることとなる。こうした大きさスケーリングの誤適用が蛙の手錯視の原因であると考えられる。

上記の説明が正しい場合、ふたつのことが予測できる。ひとつは、手のひらの写真では逆さに呈示しても手の甲の場合と異なり錯視が生じないということである。なぜなら、我々は無理のない姿勢で指が遠方かつ下方に向けた手のひらを見ることはできるためである。もうひとつは手を黒く塗りつぶしたシルエットでは、奥行きの手がかりが乏しいため、錯視が生じない（正立像と倒立像で形や大きさに違いが生じない）ということである。この予測を確かめることが本研究の目的であった。

### 3. 研究の方法

#### <両眼間距離と立体視>

参加者の両眼（瞳孔）間距離は瞳孔間距離計（Nidek, PM600）にて測定した。

知覚奥行き量はランダムドットステレオグラムと実物体の双方を刺激として測定した。ランダムドットステレオグラムでは、背景となる正方形のランダムドット面中心の小さな正方形領域に5水準の交差網膜像差を与えたものであり、両眼融像すると正方形が画面手前に浮き出て知覚された。実物体刺激として、ステレオグラムと同じ要素のサイズと密度を持つランダムドットテクスチャーを印刷し、薄いプラスチックシートに貼り付けたものを用いて、ランダムドットステレオグラムを融像観察したときの見えとよく似た模型を作成し、これを呈示した。この実物刺激には、先述のランダムドットステレオグラムを平均的な両眼間距離の観察者（60mm）が観察したときに知覚される5種類の奥行きを持つものを作成した。

実験参加者の課題は刺激の種類によらず、

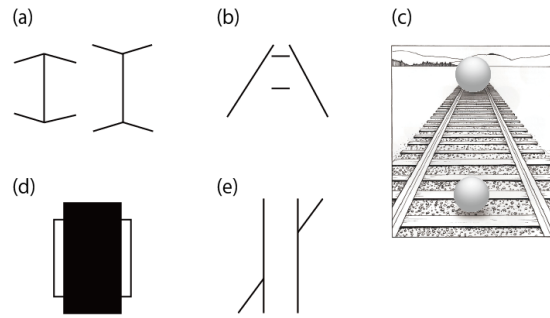


図3 本研究で用いた錯視図形 (a)ミュラー・リヤー錯視：右の垂直線部分が長く見える。(b)ポンゾ錯視：上の水平線分の方が長く見える。(c)回廊錯視：上の球の方が大きく見える。(d)カニツツァ縮小錯視：遮蔽された白い正方形が縦長の長方形に見える。(e)ポグゲンドルフ錯視：一直線の斜め線分が上下にズレて見える。

液晶画面中央に呈示された刺激を観察し、刺激に知覚される奥行き量を、プローブを用いて測定（再生）し報告することであった（被験者調整法）。ステレオグラム刺激は液晶画面上に呈示され、観察者は偏光フィルタ眼鏡をかけて立体視を行った。実物体刺激は液晶画面の前に立てたアクリル板の中央部（ステレオグラムと同じ位置）にマジックテープを用いて添付し、呈示した。

#### <両眼間距離と錯視>

ミュラー・リヤー錯視の錯視量と、両眼間距離、身長、および上肢長との間の相関を検討した。両眼間距離は瞳孔間距離計にて測定した。身長と上肢長はそれぞれ身長計とマルチン式人体計測器を用いて測定した。

ミュラー・リヤー錯視の錯視量は被験者調整法にて測定した。実験では、液晶画面上に標準刺激（錯視図形）と比較刺激（長さ可変の水平線分）を左右に並べて呈示した。実験参加者の課題は、比較刺激の大きさをキー押しで調節し、標準刺激の水平線部分の大きさに一致させることであった。

別の実験では、ミュラー・リヤー錯視のほか、ポンゾ錯視、回廊錯視、カニツツァ縮小錯視、ポグゲンドルフ錯視の五種類の錯視について錯視量と両眼間距離の相関を測定した。測定は全て参加者調整法で行った。以下にそれぞれの測定について詳細を述べる。

ミュラー・リヤー錯視（図3a）：上記と同様の方法で錯視量を測定した。

ポンゾ錯視（図3b）：液晶画面上にハの字型の背景線分に挟まれるような形で、標準刺激（長さ一定の水平線分）と比較刺激（長さ可変の水平線分）を上下に並べて呈示した。参加者の課題は、比較刺激の長さが標準刺激の長さと同じになるように調節することであった。

回廊錯視（図3c）：一点透視図法で描かれた線路の絵を背景とし、線路上に直径固定の球体

(標準刺激)と、キー押しで直径を変えることができる灰色の円を上下に並べて呈示した。実験参加者の課題は、円の直径を球の直径と一致するように調節することであった。

カニツァ錯視(図3d):黒い縦長の長方形と、それが遮蔽する白線で描かれた四角形を呈示した。白線の四角形は高さが固定、幅はキー押しによって可変であった。実験参加者の課題は、黒い長方形で遮蔽されている白線の四角形の幅を高さと一致させること(白線の四角形を正方形に見えるように幅を調節すること)であった。

ポゲンドルフ錯視(図3e):二本の垂直線分と、それらに接する斜め線分を左垂直線分の左側、右垂直線分の右側にそれぞれ呈示した。左右いずれかの斜め線分はキー押しによって上下に位置が可変であった(比較刺激)。参加者の課題は、位置が固定のもう一方の斜め線分(標準刺激)を延長した時に歪みなく一直線となるように、比較刺激の位置を調節することであった。

#### <身体の制約と大きさのスケーリング>

実験では、手のひらおよび手の甲の写真をPC画面上に呈示した。撮影した大きさの写真を標準刺激とし、各標準刺激の大きさを縦方向に6段階伸長・短縮(-15~15%の間で5%間隔)加工したものを比較画像とした。刺激を呈示する際は陰影を残して白黒加工し、輪郭を円形にトリミングしたものを使用した。参加者の課題はパソコンの画面に呈示された標準刺激と比較刺激の写真のうち、どちらの手の方が指が長いと判断し、キー押しで回答することであった(恒常法)。

## 4. 研究成果

### <両眼間距離と立体視>

もし我々の視覚系が網膜像差から奥行きを復元する際に個人の両眼間距離(およびそれに伴う網膜像差の違い)を加味してスケーリング・ゲインを較正しているならば、網膜像差量が固定のランダムドットステレオグラムを観察する際に知覚される奥行き量は、両眼間距離の関数となることが予測できる。具体的には、両眼間距離が大きな観察者ほど、知覚される奥行き量は小さくなるはずである。一方、実物体を観察する場合は、両眼間距離の違いに起因する網膜像差量の違いをキャンセルするように較正が行われるならば、知覚される奥行き量は両眼間距離によらず一定となるはずである。

実験の結果は上記の予測と一致するものであった。すなわち、ランダムドットステレオグラムの奥行きを報告させた場合、両眼間距離と知覚奥行き量の間には負の相関が認められ、両眼間距離が大きな観察者ほど、報告される奥行きは小さかった。一方、実物体の奥行きを報告させた場合、両眼間距離と知覚奥行き量の間には相関関係は認められなかった。以上の結果は我々の立体視系において両眼間

距離に応じたスケーリング・ゲインの調整が行われていることを強く示唆する。

### <両眼間距離と錯視>

ミュラー・リヤー錯視の錯視量と両眼間距離、身長、および上肢長との間に有意な相関関係は認められなかった。同様に、ポンゾ錯視、ポゲンドルフ錯視、カニツァ錯視、回廊錯視の錯視量と両眼間距離の間にも有意な相関は認められなかった。

一方、これらの錯視のうち、ミュラー・リヤー錯視、ポンゾ錯視、ポゲンドルフ錯視、回廊錯視の4種の錯視の錯視量の間には弱~中程度の正の相関が認められた。カニツァ錯視の錯視量はその他の錯視の錯視量とは相関しなかった。これらの結果は、特定種の錯視に共通のメカニズムがあることを示唆するとともに、単にあらゆる錯視に感受性が高い(錯視量が多い)個人とそうでない個人が居るわけではない、ということを示す。ポゲンドルフ錯視とカニツァ錯視には共通のメカニズム(単眼遮蔽領域の補正機構, Mitsudo & Nakamizo, 2005, Otsuka & Ono, 2002)が関わっているという推測があるが、本実験の結果によると両者の錯視量を決定づけるメカニズムは別のものである可能性が高い。

### <身体の制約と大きさのスケーリング>

手の甲の写真で刺激とした場合、上下逆さに呈示した手の指の長さは、正立呈示した写真よりも有意に短く知覚された。一方、逆さに呈示した手のひらの写真の場合、上下反転呈示した場合と正立呈示した場合で、知覚される指の長さには有意な差は認められなかった。また、手を黒一色で塗りつぶしたシルエット刺激では錯視は生じなかった。以上の結果は、上下逆さに呈示した身体部位(手)の大きさについては距離にもとづく大きさのスケーリングが正しく働かない場合があること、およびスケーリングが正しく働くかどうかは身体の可動範囲とそれに紐付いた身体の見えに依存することを示唆する。

## 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1件)

- ① 田谷修一郎, 身体特徴の違いが生む空間知覚の個人差, 基礎心理学研究, 査読無, 34, 2016, 269-275.

[学会発表](計10件)

- ① 田谷修一郎, 蛙の手錯視: 大きさスケーリングの生体力学制約? 第8回多感覚研究会, 2016年11月, 東京都新宿区
- ② 田谷修一郎, 機能は形に従うか?: 視知覚における身体の枠組み, Yong Perceptionists' Seminar 2016. 2016年9月, 千葉県長生群
- ③ Taya, S., The frog-hand illusion: an evidence

of body schema constraint in size constancy?

The 31st International Congress of

Psychology, 2016年7月, 神奈川県横浜市

- ④ 田谷修一郎, 視知覚と視覚認知における身体  
の役割, 人文科学研究所公開研究会,  
2016年3月, 東京都千代田区
- ⑤ 田谷修一郎, 身体の制約と錯視, 第10回  
錯覚ワークショップ: 錯覚科学への心理  
学的アプローチと現象数理学的アプロ  
ーチ, 2016年3月, 東京都中野区
- ⑥ 田谷修一郎, 両眼立体視における眼間距  
離と知覚奥行き量の関係—実物体とステ  
レオグラムの比較—, 日本基礎心理学会第  
34回大会, 2015年11月, 大阪府東大阪市
- ⑦ 田谷修一郎, 身体特徴の違いが生む空間  
知覚の個人差, 2015年度日本基礎心理学  
会第1回フォーラム, 2015年5月, 東京  
都港区
- ⑧ Taya, S., “Instant fading” and “frog-hand  
illusion”, International Symposium on  
Psychological vs Mathematical Approaches to  
Optical Illusion, 2015年3月, 東京都中野区
- ⑨ 田谷修一郎, 蛙の手錯視: 身体像に対する  
大きさスケーリングの視点依存性, 日本視  
覚学会 2015年冬季大会, 2015年1月, 東  
京都新宿区
- ⑩ 田谷修一郎・岡部香菜, 観察者の眼間距離  
は錯視量の個人差を予測するか, 日本基礎  
心理学会第33回大会, 2014年12月, 東京  
都八王子市

[図書] (計2件)

- ① 田谷修一郎 他, 有斐閣, 現代心理学辞  
典, 印刷中
- ② 田谷修一郎 他, 北大路書房, 感性認知  
アイステーシスの心理学, 2016, 45-61.

[その他]

- ① Taya, S. Mask induced filling-out. Best  
Illusion of the Year 2017, Top 10 Finalist.  
2017年
- ② 田谷修一郎 マスク誘導充填 第7回錯視  
コンテストグランプリ, 2015年
- ③ 田谷修一郎 「蛙の手」錯視 第6回錯視  
コンテスト入賞, 2014年

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田谷修一郎 (TAYA, Shuichiro)

慶應義塾大学・法学部・講師

研究者番号: 80401933