

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：32635

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24830079

研究課題名(和文) 両眼立体視の個人差 左右眼間距離と学習の影響についての検討

研究課題名(英文) Individual difference in stereoscopic vision: the effects of inter-ocular distance and prior-experience

研究代表者

田谷 修一郎 (TAYA, Shuichiro)

大正大学・人間学部・講師

研究者番号：80401933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円、(間接経費) 600,000円

研究成果の概要(和文)：観察者の両眼間距離(右眼と左眼の水平方向の離れ具合)が立体視(網膜像差に基づく奥行き知覚)に及ぼす影響について検討した。約50名の観察者について、ランダムドットステレオグラムの観察時に知覚される奥行き量を測定した。刺激はPCディスプレイ上に呈示され、アナグリフを通して観察された。観察者の両眼間距離は瞳孔間距離計を用いて計測された。実験の結果、知覚奥行き量の平均値と両眼間距離、および知覚奥行き量のばらつきと両眼間距離の間に負の相関関係が認められた。この結果は、視覚系が網膜像差に基づいて奥行き量を復元する際に両眼間距離情報を利用していることを強く示唆する。

研究成果の概要(英文)：The effect of inter-ocular distance (the horizontal distance between left and right eyes) on the stereoscopic depth perception was tested. We asked approx. 50 observers to report the size of depth they perceived in the random dot stereograms. The stereograms had five different sizes of binocular disparity. The stimuli were shown on a computer display and observed through an anaglyph at a fixed viewing distance. The inter-ocular distance of each observer was measured with a pupil distance meter. It was found that there was a negative correlation between the inter-ocular distance and the mean size of the perceived depth. Also, there was a negative correlation between the inter-ocular distance and the standard deviation of the perceived depth. The results suggest that the visual system uses inter-ocular distance information to calculate the size of depth in stereoscopic stimuli.

研究分野：実験心理学

科研費の分科・細目：実験心理学

キーワード：両眼立体視 眼間距離 個人差 奥行き知覚 奥行き手がかり 網膜像差 両眼視差 手がかり統合

## 1. 研究開始当初の背景

二次元網膜像からの三次元空間の復元は数学的には一意に解の定まらない「不良設定問題」であり、これを解決するために視覚系は多様な情報源（手がかり）を用いている。これまでに幾種類もの奥行きの手がかりが発見されているが、これらは大きく両眼性のものと単眼性のものに大別できる。たとえば網膜像差は代表的な両眼性手がかりであり、左右の眼に映る網膜像のわずかなズレを指す。このズレの大きさと方向の情報は、理論上、外界の奥行き量と方向を「復元」するために用いることができる。奥行き手がかりのなかでも量と方向の双方の手がかりとなるものは数少なく、このために網膜像差は強力な手がかりとみなされている。

一方、片目を閉じているとき、あるいはTVやPCなどのディスプレイ越しにもものを見る場合など網膜像差の利用できない観察状況下でも、我々は世界を三次元として知覚することができる。これは単眼網膜像の中にも線遠近法や運動視差といった手がかりが含まれているためである。視覚系はこうした複数の手がかりを「統合」することで精度の高い3次元空間の復元を可能にしていると考えられている (eg Howard & Rogers 2002)。

網膜像差とその他の手がかりを統合して奥行きを知覚するとき、各手がかりの知覚への寄与率は均等ではない。例えば視距離が比較的短いとき、視覚系は網膜像差をその他の手がかりよりも強く信頼する（その他の手がかりよりも重視して奥行き量を見積もる）が、視距離が長くなると網膜像差に割り当てられる信頼の度合い（重み付け）は低下する。これは視距離が大きくなるほど網膜像差の量が微細なものとなる（したがってノイズの影響を受け易くなる）ためであると考えられ、視覚系が状況に応じてより信頼できる手がかりを優先的に使う合理性を有することの証拠とされる (eg Johnston 1991)。ここまでは従来の研究で良くわかっていることであるが、興味深いのは、こうした手がかり統合場面において、網膜像差に割り当てられる信頼性に個人間で大きなばらつきがあることである。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、視覚系による3次元空間の復元における網膜像差利用の個人差を生む要因のひとつとして、両眼間距離（左右眼の離れ具合）の影響を検討することであった。

網膜像差は強力な奥行きの情報源であるが、この手がかりのみで外界の奥行きを一意に特定することはできない。これは網膜像差の大きさと外界の奥行き量の間の一対一の対応関係が無いためであり、例えば物理的に同じ奥行き量の物体を観る場合にも、観察者の眼間距離が大きくなるほど生じる網膜像差は小さくなる (図1)。

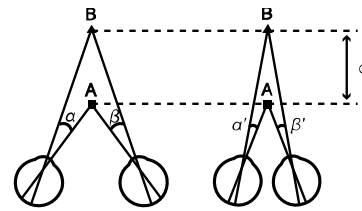


図1 網膜像差の幾何学。眼間距離 (I) が異なると奥行き (d) が等しくても網膜像差の大きさは異なる ( $\alpha + \beta > \alpha' + \beta'$ )。

幾何学的には、奥行き量 d の物体を両眼間距離 I の観察者が視距離 D で観察するとき、この物体のもたらす網膜像差 ( $\delta$ ) は以下の式で表すことが出来る (Ono & Commerford 1977)。

$$\delta = \frac{Id}{D(D+d)} \quad (1)$$

式1を奥行き量 d について解くと

$$d = \frac{\delta D^2}{I + \delta D} \quad (2)$$

式2は外界の奥行きを「正確に」知覚するために、視覚系は物体までの距離 (D) と眼間距離 (I) に基づいた網膜像差のゲイン校正（奥行きスケールリング）を行う必要があることを予測する。

この「網膜像差の幾何学（中溝・下野, 2001）」に基づいて、眼間距離の個人差が網膜像差の処理に及ぼす影響について、ふたつの事前予測が立てられた。ひとつは、網膜像差の幾何学を鑑みて両眼間距離が知覚される奥行き量に影響するというものであった。すなわち、もし視覚系が立体視の過程で両眼間距離情報を考慮しているならば、式2より、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はずであり、逆に眼間距離が小さくなるほど知覚奥行き量は大きくなるはずである。この関係は、両眼間距離の大きさと知覚奥行き量との負の相関として現れると考えられる。

ふたつ目の予測は、眼間距離は知覚される奥行き量の平均値のみでなくばらつきにも影響を及ぼすというものである。もし眼間距離の小さな観察者が眼間距離の大きな観察者よりも大きな奥行きを復元するならば、眼間距離の小さな観察者はより大きなスケールリングゲインを持つ。ゲインが大きいほどノイズの影響を受け易くなるため、眼間距離の小さな観察者は眼間距離の大きな観察者よりも知覚奥行き量のばらつきが大きくなることが予測される。

一方、立体視において眼間距離はスケーリ

ングに用いられない可能性もある。奥行き  
のスケーリングに必要なもう一つの変数である  
観察距離に比べると、眼間距離は小さく、  
また変化することもほぼない。I に何らかの  
値を持っていれば理論上奥行きは計算可能  
であり、その値は必ずしも個人の眼間距離を  
反映しないかもしれない。このケースが真で  
ある場合、両眼間距離の大きさと知覚奥行き  
量の間には相関が認められないはずである。

### 3. 研究の方法

知覚される奥行き量と両眼間距離の間の  
関係を検討するため、約 50 名の観察者に視  
距離と網膜像差を固定したランダムドット  
ステレオグラムに知覚される奥行き量の報  
告を求めた。

#### 刺激と装置

観察者は 19 インチの液晶ディスプレイの  
前に座り、顎台で頭部を固定した状態でアナ  
グリフ（赤青眼鏡）越しにステレオグラムを  
観察した。観察距離はおおよそ 57cm であった。

ステレオグラムを構成するランダムドット  
面は液晶ディスプレイ中央の 200×200 ピ  
クセル（5.5×5.5 cm）の領域に 1 ピクセルの  
ドットを 10%の密度でランダムに配置する  
ことで描かれた。ランダムドット面の網膜像  
差を与えられた部分は赤と緑のドットを用  
いて描かれた。網膜像差の無い部分は黄色い  
ドットで描かれた。

赤いドットはアナグリフの左眼の青緑色  
のレンズを通してのみ、緑のドットは右眼の  
赤いレンズを通してのみ刺激を観察するこ  
とができた。ステレオグラム中央の 50×50  
ピクセル（2.8×2.8 cm）の正方形領域には交  
差網膜像差が与えられており、被験者がアナ  
グリフを装着して観察すると 2.8cm 四方の  
小さな正方形が 5.5cm 四方の大きな正方形  
の手前に浮かんでいるように知覚された。小  
さな正方形領域に与えられた網膜像差の大  
きさは視角で 0.07 度、0.13 度、0.20 度、0.27  
度、0.34 度の 5 種類であった。これらの網膜  
像差は（左右眼間距離の平均的な大きさとさ  
れる）両眼間距離 60mm の被験者が視距離  
57cm においておおよそ 5mm、10mm、15mm、  
20mm、26mm の奥行きの物体を観察する時、  
それぞれの物体がもたらす網膜像差に相当  
する。

ステレオグラム面の直下には背景面の幅  
と同じ長さ（5.5cm）の水平線分が、さらに  
その下には立体視時に手前に浮かんで見え  
る面の幅と同じ長さ（2.8cm）の水平線分が  
呈示された。これらの水平線分の実験開始当  
初の上下間隔は 0~50 ピクセル（0~17mm）  
の範囲で試行毎にランダムに決定された。被  
験者はこのふたつの水平線分の間隔をキー  
押しによって調整することができた。

#### 両眼間距離の測定

瞳孔間距離計（Nidek PM600）を用いて両  
眼間距離の測定を行った。瞳孔間距離計の設  
定により、被験者が無限遠を見ているとき  
（つまり左右眼の視線方向が平行となる時  
）の瞳孔間距離を両眼間距離とした。測定  
は各被験者につき 1 回ずつ、上昇系列と下降  
系列で行われた。上昇系列の測定では、距離  
計のメモリを最小（瞳孔間距離 46mm）に狭  
めてから次第に開いてゆき、被験者の瞳孔間  
距離に一致させた。下降系列の測定では、距  
離計のメモリを最大（瞳孔間距離 83mm）に  
開いてから次第に狭めてゆき、被験者の瞳孔  
間距離に一致させた。この 2 回の測定の平均  
値を各被験者の両眼間距離とした。

#### 知覚奥行き量の測定

観察者は全員、眼間距離の測定後に知覚奥  
行き量を測定するための実験に参加した。

観察者の課題は、ステレオグラムに知覚さ  
れる奥行きの大きさを、ステレオグラムの直  
下に呈示された 2 本の水平線分の間隔を用  
いて報告することであった。線分間隔の調整  
はキー押しによって行った。短い方の水平  
線分が、上矢印キー（↑）を押すと下に、下  
矢印キー（↓）を押すと上にそれぞれ 1 ピク  
セルずつ移動した。被験者はこの操作によ  
って上下の水平線分の間隔を、ステレオグラ  
ムに知覚される前後の正方形の間の奥行きと  
一致させた。各試行に制限時間は設けられ  
ず、被験者が線分の長さを奥行きと一致さ  
せたと思った時点でスペースキーを押して次  
の試行を開始した。報告した奥行き量がシ  
ミュレートした奥行きからどれくらいずれて  
いたか、などのフィードバックは与えなかつ  
た。実験は全 5 ブロックで構成されており、  
それぞれのブロックでは、5 種類の網膜像差  
のステレオグラムがランダムな順序で 1 回  
ずつ提示された。したがって被験者は全 25  
試行（5 ブロック×5 種類のステレオグラム）  
の測定を行った。

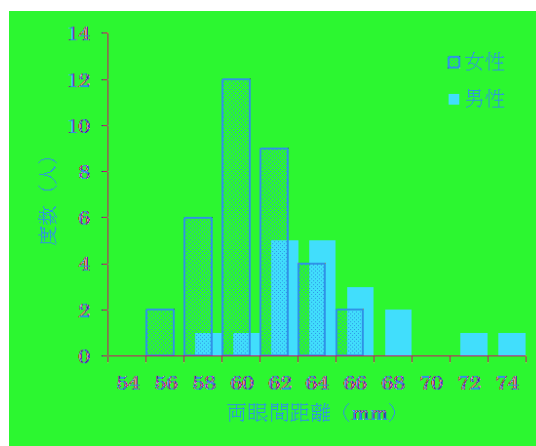


図2 両眼間距離のヒストグラム

#### 4. 研究成果

##### 両眼間距離の分布

計測された両眼間距離のヒストグラムを図2に示す(階級=0.2cm)。男女合わせた両眼間距離の平均値は6.12cm(標準偏差0.35)、男性の平均値は6.36cm(標準偏差0.37)、女性の平均値は5.99cm(標準偏差0.25)であった。最大値は男性が7.23cmで女性が6.55cm、最小値は男性が5.73cmで女性が5.48cmであった。

##### 知覚奥行き量と両眼間距離の関係

続いて、知覚奥行き量と両眼間距離の間の相関を分析した。先に述べたように、両眼網膜像差の幾何学からは両眼間距離が大きく(小さく)なるほど、知覚奥行き量は小さく(大きく)なることが予測される。実験の結果はこの予測とおおよそ一致するものであった。図3は横軸を両眼間距離、縦軸を知覚奥行き量とする散布図である。この図の示すように、ステレオグラムに知覚される奥行き量は両眼間距離が大きくなるほど小さくなっており、負の相関関係が認められる。両眼間距離と知覚奥行き量との相関係数は、網膜像差の小さい刺激から順にそれぞれ-0.22、-0.37、-0.45、-0.35、-0.27であった。

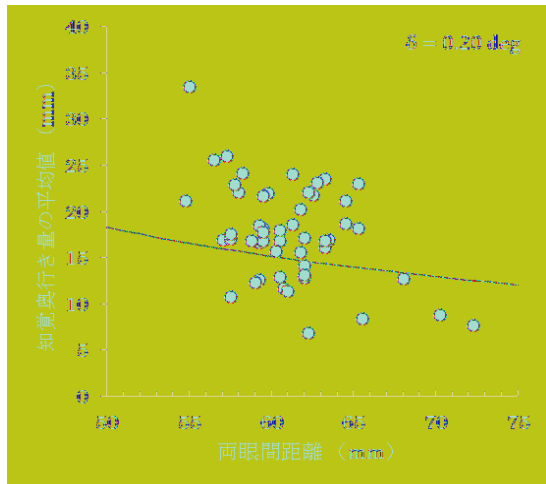


図3 両眼間距離と知覚奥行き量の平均

上記の計測値を網膜像差の幾何学から予測される理論値と比較するため、式2にしたがって理論値を計測した。計測された理論値は図3中に実線で示す。図3から明らかなように、知覚奥行き量の実測値は、理論値のカーブよりも傾きが急であった。つまり両眼間距離が小さな被験者は理論値よりもかなり大きな奥行きを知覚していたのに対し、両眼間距離が大きな被験者は理論値よりも小さな奥行きを知覚していた。

さらに知覚奥行き量の個人内のばらつきと両眼間距離の関係についても分析した。この結果、知覚奥行き量のばらつきは眼間距離の小さな被験者ほど大きいという事前予測に一致した結果が見られた(図4)。知覚奥

行き量の個人内標準偏差と両眼間距離の間の相関係数は、網膜像差の小さい刺激から順にそれぞれ-0.32、-0.24、-0.26、-0.18、-0.15であった。

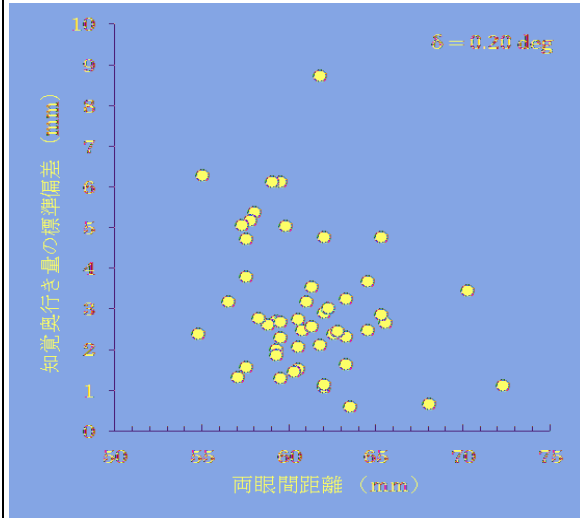


図4 両眼間距離と知覚奥行き量のばらつき

##### 考察と展望

両眼間距離の小さな観察者ほど知覚奥行き量の平均値とばらつきが大きくなる、という本研究の結果は我々の視覚系が両眼立体視において眼間距離情報を用いたスケールリングを行っていることを強く示唆する。

本研究で計測された知覚奥行き量の個人差は、幾何学的に予測されるものよりもずっと大きかった。とりわけ、眼間距離の小さな(>1σ)観察者は幾何学からの予測値よりもずっと大きな奥行きを知覚する傾向があった。この幾何学からのズレの原因は不明であるが、立体視の目的が奥行きを「正確に」復元することよりも奥行きの検出にあると考えると説明がつくかもしれない。すなわち、眼間距離の小さな観察者は得られる網膜像差が小さいため、奥行きを検出することを第一の目的として必要以上に大きなゲインを用いて、奥行きの換算をおこなっているのかもしれない。

また、網膜像差に基づく知覚奥行き量の個人内のばらつきが、眼間距離の小さな観察者ほど大きかったという本研究の結果は、奥行き手がかりの統合の際に網膜像差に割り当てる信頼性の個人差の要因となる可能性がある。すなわち、眼間距離の小さな観察者にとって網膜像差はノイズの大きな手がかりであるため、それ以外の単眼性手がかりなどにより大きな重みをつけて奥行きを復元している可能性がある。この問題については現在検討中である。

#### 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3件)

- ① Pasqualotto A, Taya S & Proulx M, Sensory deprivation: Visual experience alters the mental number line. *Behavioral Brain Research*, 査読有, 261 巻 15 号, 2014, 110-113. DOI: 10.1016/j.bbr.2013.12.017
- ② Taya S, Windridge D & Osman M, Trained eyes: Experience promotes adaptive gaze control in dynamic and uncertain visual environments. *PLOS ONE*, 査読有, 8 巻 8 号, 2013, e71371. DOI: 10.1371/journal.pone.0071371
- ③ 田谷修一郎, 心的空間における数の表象, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 2012, 36 巻, 1-4.

[学会発表] (計 9 件)

- ① Taya S, People with wider inter-ocular distance see less depth in random dot stereograms, 37<sup>th</sup> European Conference on Visual Perception, 2014 年 8 月, セルビア
- ② 田谷修一郎・和田有史, 日本基礎心理学会若手研究者特別委員会, 平成 25 年度日本学術会議シンポジウム, 2014 年 3 月, 東京都
- ③ 田谷修一郎・塚本成美, ステレオグラムにおける眼間距離情報を用いた奥行きのスケーリング, 日本視覚学会 2014 年冬季大会, 2014 年 1 月, 東京都
- ④ 田谷修一郎・Magda Osman, 認知的負荷課題遂行中の眼球運動, 日本基礎心理学会第 32 回大会, 2013 年 12 月, 石川県
- ⑤ 田谷修一郎, スポーツ動画鑑賞中の予測的眼球運動, 日本視覚学会 2013 年冬季大会, 2013 年 1 月, 東京都
- ⑥ 田谷修一郎, Spatial representation of numbers and time: studies with blind and sighted participants, Special International Seminar for Time Study, 2012 年 12 月, 山口県
- ⑦ 田谷修一郎, 心的空間における数の表象, 映像情報メディア学会, 2012 年 12 月, 沖縄県
- ⑧ 田谷修一郎, 先行知識がスポーツ動画鑑賞中の眼球運動に及ぼす影響, 2012 年 11 月, 福岡県
- ⑨ 田谷修一郎, 心的数直線は生得的か? 盲者と健常者による数・空間相互作用の比較, 日本心理学会第 76 回大会, 2012 年 9 月, 東京都

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田谷 修一郎 (TAYA, Shuichiro)

大正大学・人間学部・講師

研究者番号: 80401933