

奥行き知覚における両眼視差と光源位置の効果*

門脇由佳¹⁾・高橋啓介²⁾

Effects of binocular disparities and light source direction upon the depth perception

Yuka KADOWAKI and Keisuke TAKAHASHI

This study examined the effect of the interaction between binocular disparity and light source direction upon the depth perception. The direction of binocular disparity was two levels of uncrossed disparity and crossed disparity. The amount of binocular disparity was four levels varying from 0.06° to 0.24° in 0.06° steps. The light source direction was set to two levels of upper left and lower right. The control condition was 0° binocular disparity in each light source direction. The stimuli were constructed by a figure simulating a regular triangular pyramid those were presented dichoptically and made the subjects judge depth of those stimuli. As a result, it was suggested that binocular disparity and light source direction have an independent effect respectively upon the depth perception. In addition, when binocular disparity and light source direction acted as antagonistic depth cues, binocular disparity was shown to have a stronger effect.

Keywords : 両眼視差の方向、両眼視差量、光源位置、奥行き知覚

Direction of binocular disparity, Amount of binocular disparity, Light source direction, Depth perception

1. 問題と目的

奥行き知覚には様々な手がかりが関与しており、視覚系は複数の奥行き手がかりを統合して奥行き知覚を達成していると考えられる。Bulthoff & Mallot(1988)は光源位置による絵画の手がかりと両眼視差手がかりとの間に拮抗的關係が成立する場合、両眼視差の持つ奥行き情報が優位になると報告している。他方、Stevens & Brookes(1986)は肌理の密度勾配による絵画の手がかりと両眼視差による手がかりとでは絵画の手がかりの奥行き情報の方が優位になると報告している。しかし、絵画の手がかりと両眼視差手がかりとの交互作用については確定的な知見は得られていない。そこで本研究では光源位置に代表される絵画の手がかりと両眼視差手がかりとの間の交互作用について検討を行った。

様々な絵画の手がかりの中で、白黒写真やデッサンなどから奥行き知覚を得る際に主に用いていると考えられるのが光源位置情報である。一方、両眼視差は大変に強力な立体感を生む。この2つの奥行き手がかりは奥行き知覚のために日常的に頻繁に利用されることが知られており、その交互作用について検討することは、日常場面における奥行き手がかりの処理過程の解明に繋がる。

Ramachandran(1988)は光源位置を描いた円形図形は上方にハイライトを設定すると凸型に知覚され、下

* 本研究は愛知淑徳大学健康医療科学部医療貢献学科視覚科学専攻研究倫理委員会の研究倫理審査を通過して実施された(健視倫理 2020-45号)。

1) 愛知淑徳大学健康医療科学部医療貢献学科視覚科学専攻学部生

2) 愛知淑徳大学健康医療科学部医療貢献学科視覚科学専攻

方にハイライトを設定すると凹型に知覚されることを示し、唯一の光源が視野中の上方にあることを前提として奥行き知覚が成立するとする上方光源仮説を提唱している。Sun & Perona(1998)はRamachandran(1988)の仮説に対し、真上ではなく少し左右にずれた上方向に光源を設定した場合に奥行き感を生じるとし、さらにMamasian & Goutcher(2001)は左方に光源があるように知覚されている物体面は手前に知覚され、右方に光源があるように知覚されている物体面は奥に知覚されることを示している。これらの所見から、左上に光源を設定した物体面は凸に、右下に光源を設定した物体面は凹に知覚されやすいと予測される。

両眼視差による立体感は、視覚系が両眼の異なる網膜像を一つの像として処理することにより生じる(Wheatstone, 1838)。両眼視差には固視点より手前に定位が成立する交差視差と、固視点より奥に定位が成立する非交差視差がある。Tam & Stelmach(1998)は交差視差、非交差視差は知覚される奥行き量が対称ではなく、非交差視差は交差視差に比べて奥行き知覚が曖昧であることを示唆している。Aubin & Arguin(2014)は、Tam & Stelmach(1998)のこの所見から、光源位置と両眼視差の二つの手がかりを処理する場合、非交差視差では両眼視差の効果が弱まり、相対的に光源位置の効果が大きくなるとの仮説に基づき、図1に示すような球体に平面部を設けたステレオグラムを用いて、両眼視差と光源位置との交互作用を検討する実験を行っている。この刺激では、平面部の位置によって両眼視差方向が、球体上に描かれたグラデーションによって光源位置が設定されており、被験者は各条件の刺激図形が凹凸のどちらに見えるかを回答した。その結果、光源位置は上方、両眼視差は交差視差がより凸に見えるという主効果が認められたが、両手がかり間に交互作用は認められなかった。このことからAubin & Arguin(2014)は、光源位置と両眼視差とは相互に独立で、単純に加算的に作用すると結論づけた。しかし、Aubin & Arguin(2014)では、奥行き方向判断に及ぼす効果が両眼視差による手がかりと比較して光源位置では著しく小さいという問題が指摘できる。2つの手がかりが各々独立して作用するという結果は、両手がかりの刺激強度に著しい差異があったことが原因として排除できない。つまり、手がかり間での効果の差は、光源位置と両眼視差で奥行き知覚に及ぼす効果の加重が質的に異なることによる可能性の他に、刺激の強度差による可能性が考えられるということである。手がかりの刺激強度の差によって手がかり間での効果の差異が生じているとすれば、刺激強度を光源位置では強く、両眼視差では弱くするなどの操作を行えば、手がかり間での効果の差異は緩和できると考えられる。そこで、本研究では光源位置の刺激強度を高めることで、両眼視差との間の奥行き手がかりとしての効果の差を緩和し、改めて非交差視差のときに光源位置の効果が相対的に大きくなるのかを検討し、両眼視差方向によって光源位置の効果の大きさが変わるなどの、手がかり間の交互作用の有無について検討する。なお、Aubin & Arguin(2014)による仮説は、光源位置による奥行き効果が奥行きの方向や光源位置に関わらず一定であることを前提としているので、本研究でもこの前提を踏襲する。

加えて、安岡(2006)は両眼視差の絶対値が増加するほどその奥行き量は増大し、逆に増加率は弱まる傾向が見られると述べている。このことから、光源位置と両眼視差方向の相互作用と同様に、両眼視差の絶対値を変化させたとき、両眼視差の絶対値が大きいときでは奥行き知覚の効果の増加率が小さくなり、相対的に光源位置の効果の増加量が大きくなることが予測される。そこで、本研究では両眼視差方向だけでなく、両眼視差の絶対値についても光源位置との交互作用が生じるのかについても検討する。

光源位置と両眼視差との効果の差の緩和は、光源位置手がかりの刺激強度を高めることで操作した。光源位置手がかりの強化は、Marr(1982)が述べた凸の嗜好性を排除する役割も持つ。凸の嗜好性とは奥行き手がかりが曖昧な場合には凸面として対象を知覚する傾向であり、光源位置手がかりにおける凸の嗜好性は、Aubin & Arguin(2014)においても凸に知覚されるバイアスが上方光源仮説のような照明方向のバイアスよりも強いことが示唆されている。本研究においては光源位置による奥行き効果が奥行きの方向や光源位置に関わらず一定であることを前提とするため、光源位置手がかりにおける凸の嗜好性の排除

が必要となる。凸の嗜好性は奥行き手がかりが曖昧な場合に生じるため、光源位置手がかりの強化を行うことでこれは排除されると考えられる。

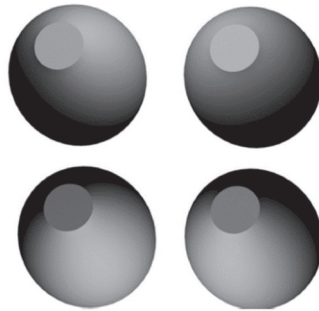


図1 Aubin & Arguin (2014)の実験で用いられた刺激の例

光源位置の刺激強度の強化は光源位置による奥行き知覚を補助する制約条件を設けることにより行われた。Kleffner & Ramachandran(1992)が行った複数の反対方向光源を持つ妨害用の刺激の中から目標光源位置の刺激を探す視覚探索課題において、目標刺激又は妨害刺激の奥行き方向によって探索時間が異なったことから、刺激を複数呈示することが光源位置による奥行き知覚に影響を及ぼしたと考えられる。したがって、刺激の複数呈示は奥行き知覚を強化させる制約条件として適当であると考えられる。また、輪郭線は奥行き手がかりの一つであり、対象の空間形状と視点の位置に依存した2次元形状をなす(金子, 2007)。輪郭線による手がかりも他の手がかりと共同で作用することで奥行き知覚を確かなものとし、奥行き知覚を強化する制約条件として適当であると考えられる。以上のことから、光源位置手がかりによる奥行き知覚を補助する制約条件として、刺激の複数呈示と輪郭線情報の付加を採用した。この際、Aubin & Arguin(2014)が用いたグラデーションによる光源位置を描いた円形図形では、光源位置による奥行き知覚を強化させるような輪郭線の設定は困難であることから、本研究では刺激図形を光源位置と輪郭線による奥行き手がかりが矛盾しないような三角形図形を用いることにした。両眼視差は三角形の内部に描いた三角錐様の3本の輪郭線の交点の位置によって付加するものとした。

また、実験開始前に奥行き知覚訓練を行った。これは、両眼視差と光源位置とをそれぞれ用いた2種類の奥行き知覚の訓練を行うことで、実験前に各手がかりに基づく奥行き知覚に被験者を十分に慣れさせる目的で行った。これにより、各手がかりによる奥行き知覚が強化され、上述の光源位置手がかりの強化による両眼視差との奥行き知覚に及ぼす効果量の差の緩和や、凸の嗜好性の排除、さらに安岡(2006)やTam & Stelmach(1998)が述べた両眼視差手がかりの特性が増強されることが期待される。訓練内容はGantz et al.(2007)が行った奥行き知覚訓練を参考に構成し、光源位置と両眼視差それぞれについて2条件の刺激が凹凸のどちらに見えるかを被験者に回答させ、その正答率が100%に達したら終了するものとした。

本研究では、光源位置と両眼視差の2つの手がかり間の優位性について検討を行うことを目的とした。そこで、左上に光源を設定した物体面は凸に、右下に光源を設定した物体面は凹に知覚される光源位置の奥行き効果は、奥行き方向や光源位置に関わらず一定であると仮定したとき、光源位置と両眼視差の2つの手がかりを処理する際にTam & Stelmach(1998)と安岡(2006)に基づき「非交差視差のときには両眼視差の効果が弱まり、相対的に光源位置の効果が大きくなる」、「両眼視差の絶対値を変化させると両眼視差の絶対値が大きい時には奥行き知覚の効果の増加量が小さくなり、相対的に光源位置の効果が増加するだろう」という二つの仮説を立てた。この仮説を検証するため、Aubin & Arguin(2014)が行った実験を参考に光源位置手がかりの強化や実験前訓練を加えてマグニチュード推定法による課題を作成した。

課題は、被験者に両眼分離器を通して異なる光源位置と両眼視差を描いたステレオグラム図形を観察させ、光源位置と両眼視差方向、両眼視差量によって刺激にどのぐらいの奥行きを感じるのかを回答させることであった。独立変数として左上、右下の2つの光源位置条件と、交差・非交差を含む8つの両眼視差条件を設定した。また、従属変数として見えの凸度をマグニチュード推定法によって評定させた。その際、凸を正の値、凹を負の値で回答させた。

2. 方法

2.1. 被験者

両眼立体視良好な大学生女子4名(平均年齢22.7歳、SD=1.2)が十分なインフォームド・コンセントに基づいて、無報酬で実験に参加した。

2.2. 実験装置

刺激は1920pixel×1080pixelのモニター(FlexScanSX2462W : EIZO)上に呈示し、反射型両眼分離器を用いて刺激を両眼分離呈示した。刺激呈示の制御と結果の記録は PsychoPy(ver.1.82.02)(Peirce & MacAskill, 2018)によって行った。実験刺激は Photoshop CC 2018(Adobe)によって作成した。

2.3. 実験刺激

実験刺激は図2に例示したステレオグラム図形であり、一辺3.12°の正三角形を底辺を下に配置した向き(以下正の向き)、あるいは正三角形の底辺を上配置した向き(以下負の向き)のいずれかとした。三角形の内部には頂点を上方から見下ろした三角錐状に見えるように三本の輪郭線が配置され、両眼視差は三角錐の頂点(以下点V)の位置によって付加した。この点Vの位置は、三角錐が正三角錐になる位置を両眼視差0°の位置として、両眼視差条件に応じて水平位置を0.03°ずつ変化させた。即ち、点Vの垂直位置は底辺から0.90°の距離に固定し、水平位置を正三角形の左側頂点から1.44°から1.68°の間に設定した。点Vの水平位置は図中、正三角形の左側頂点からの距離(LおよびR)で示した。

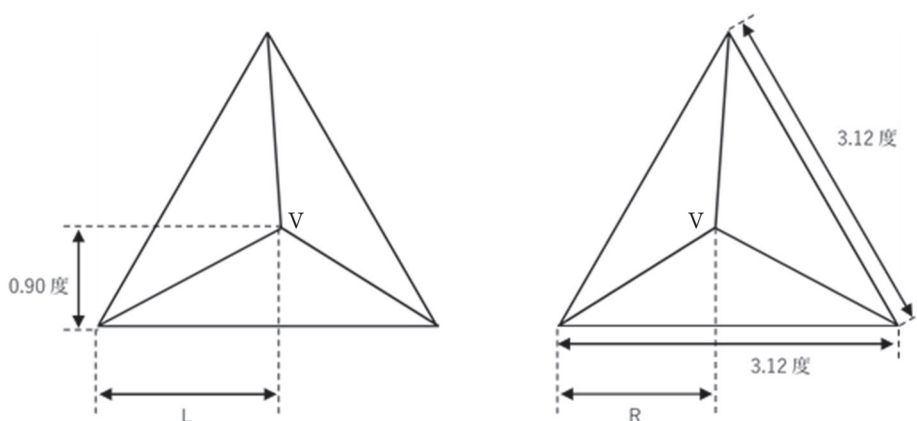


図2 実験で用いたステレオグラムの構成

両眼視差(d)は点Vの水平位置の差(L-R)である。両眼視差は-0.24°から0.24°まで0.06°ステップの9段階設定した。標準刺激は両眼視差が0.12°になるよう点Vの水平位置を固定し、比較刺激は上記の9段階になるよう点Vの水平位置を設定した。即ち、標準刺激の位置はL=1.62°, R=1.50°に固定し、比較刺激の位置は表1に示すような組み合わせでL、Rともに1.44°から1.68°までの0.03°ステップの9段階

に変化させた。

表 1 点 V の水平位置の組み合わせ

視差 d (度)		左眼用図形 L (度)		右眼用図形 R (度)	
標準	比較	標準	比較	標準	比較
0.12	0.24	1.62	1.68	1.50	1.44
0.12	0.18	1.62	1.65	1.50	1.47
0.12	0.12	1.62	1.62	1.50	1.50
0.12	0.06	1.62	1.59	1.50	1.53
0.12	0.00	1.62	1.56	1.50	1.56
0.12	-0.06	1.62	1.53	1.50	1.59
0.12	-0.12	1.62	1.50	1.50	1.62
0.12	-0.18	1.62	1.47	1.50	1.65
0.12	-0.24	1.62	1.44	1.50	1.68

比較刺激では図 4 のように縦 0.93°、横 0.30°の間隔を開けて縦横 3 列ずつの計 9 個の同一刺激図形を並べた。

標準刺激の配置は図 5 に示すように比較刺激の上部に 2.67°の間隔を空けて単独で呈示した。左右各眼用の図形は、各中心間隔を 12.60°から 14.70°まで 0.30°ステップの 8 段階設定し、被験者が融像しやすい距離を決定した。

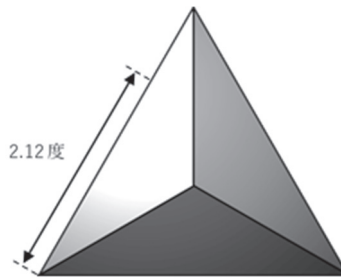


図 3 グラデーシヨンの構成

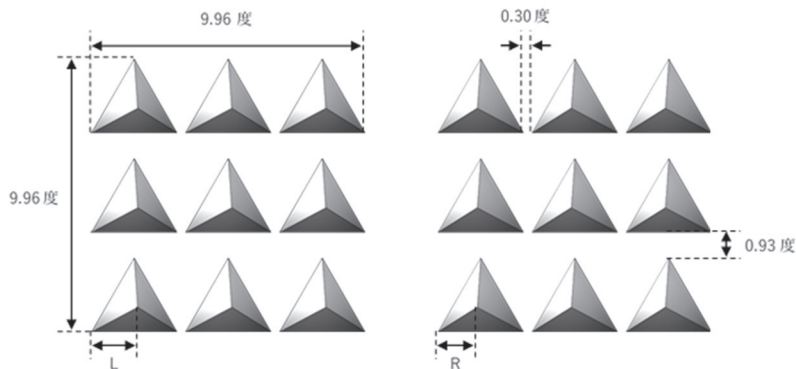


図 4 比較刺激の構成

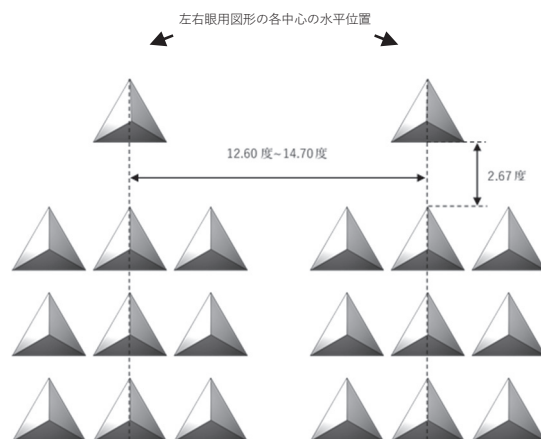


図5 刺激の例（光源位置：左上／両眼視差 0° ／正三角形の向き：正）

また、三角形の内側には図3のように左上あるいは右下に光源を設定した場合の陰影について、グラデーションを正三角形の刺激図形に乗算モードで重ねることによって描画した。左上光源のグラデーションは正三角形を正の向きに配置したときの左辺上の左側頂点から 2.12° の位置をハイライトの中心とした円形のモノトーングラデーションで、Photoshop CCによるグラデーション設定のMichelsonコントラストは0.71であった。また、グラデーションを重ねる前に三角錐の面にあたる部分は光源位置に応じて輝度を三段階に変化させており、それぞれ輝度が高い順に $187.00\text{cd}/\text{m}^2$ 、 $41.89\text{cd}/\text{m}^2$ 、 $7.59\text{cd}/\text{m}^2$ とした。右下光源の図は、左上光源の図を 180 度回転させて作成した。

2.4. 実験条件

正三角形内のグラデーションで示した光源位置2水準(左上、右下)、両眼視差方向2水準(交差:「+」、非交差:「-」)、両眼視差量4水準(0.06° 、 0.12° 、 0.18° 、 0.24°)の計16条件を設定した。さらに、統制条件として両眼視差 0° 条件における光源位置2条件を設定し、これを加えた18条件を実験条件とした。なお、繰り返し測定として、刺激の上(正の向き)下(負の向き)を逆転させた条件を設定し、測定上カウンターバランスを取った。

2.5. 手続き

各手がかりによる奥行き知覚を強化する目的で、光源位置と両眼視差による奥行き知覚についてそれぞれ訓練を行い、その後マグニチュード推定法による本実験を行った。

訓練は、光源位置条件を設定した訓練Aと両眼視差条件を設定した訓練Bの2種類からなり、順序は被験者間でランダムとした。各訓練での課題は呈示される2条件の刺激が凹凸のどちらに見えるかを回答することであり、正答率100%に達した段階で訓練終了とした。

各訓練は図6に示すように、背景輝度 $40.3\text{cd}/\text{m}^2$ のモニタ上に高さ 0.24° の固視標の十字を刺激図形と中心位置が揃うように0.75秒間呈示し、その後0.50秒の空白を挟んで5.00秒間にわたって刺激を呈示した。奥行き判断は刺激呈示と同時にキーボード入力によって被験者に回答させ、凸に見えた場合は「T」キーで、凹に見えた場合は「O」キーで反応させた。反応直後に正誤を0.50秒間呈示し、その後0.50秒間のマスク刺激を呈示した。固視標呈示からマスク刺激呈示までの一連の流れを1試行とし、1試行終了後0.50秒の空白を挟んで次の試行に移った。

訓練Aは、図7に示すように実験における両眼視差 0° のときの比較刺激である9個の正三角形を用い、光源位置を左上と右下の2条件設定した。左上のときは凸、右下のときは凹を正答として正答率を算出した。訓練Bは、図8に示すように実験におけるステレオグラム図形である正三角形を2倍の大きさに

刺激を 5.00 秒間呈示した。マグニチュード推定値は刺激呈示終了後にマウスドラッグによって被験者に入力させるものとし、入力確定後にマスク刺激を 0.50 秒間呈示した。固視標呈示からマスク刺激呈示までの一連の流れを 1 試行とし、1 試行終了後 0.50 秒の空白を挟んで次の試行に移った。

刺激は観察距離 57.3cm で両眼分離器を通して観察させ、左右の刺激図形間の距離は実験前訓練 B で決定したものと同様とした。

実験の教示を行った後、実験に移った。初めに標準刺激のみを呈示して両眼視の練習をさせ、その後、実験の練習をさせる目的で全 36 条件の中からランダムに選んだ 3 条件を標準刺激とともに順に見せて 3 試行分だけ実際の試行と同様の流れで呈示した。全 36 条件の刺激をランダム順で各 1 試行ずつ行ったものを 1 ブロックとし、3 試行分の練習を終えたら、5 ブロック (5 回の繰り返し) 計 180 試行の測定を行った。実験は長時間に及ぶため、マグニチュード推定値の入力後、マスク刺激呈示を行う前のタイミングで被験者の判断で適時休憩を挟むものとした。

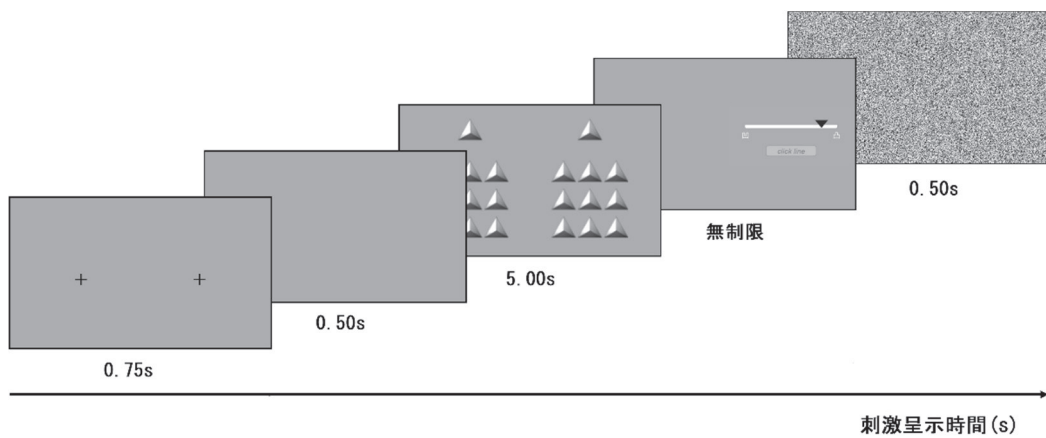


図 9 実験における 1 試行の流れ

3. 結果

以下に示す結果の統計的処理については、R(Ver.3.5.1)を用いた。

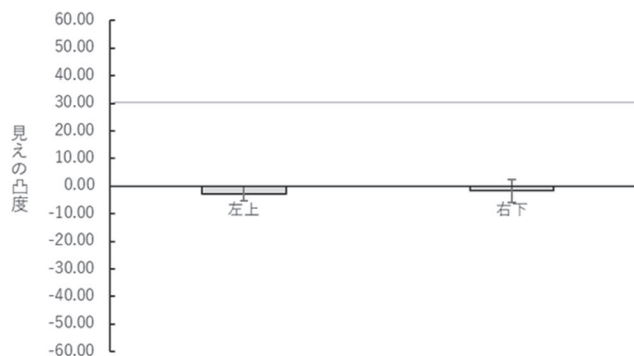


図 10 統制条件における各光源位置条件での見える凸度の平均マグニチュード推定値と標準偏差

まず、統制条件における凸度の平均マグニチュード推定値に光源位置間で差異があるかどうかを検討した。図 10 に統制条件(両眼視差 0°)における各光源位置条件での見える凸度の平均マグニチュード推定値と標準偏差とを示した。図 10 によると統制条件における見える凸度の平均マグニチュード推定値

に光源位置による差異は認められず($t_{4,98}=.71, n.s.$)、両眼視差 0° では光源位置に関わらず、奥行きはほとんど知覚されないことが確認された。

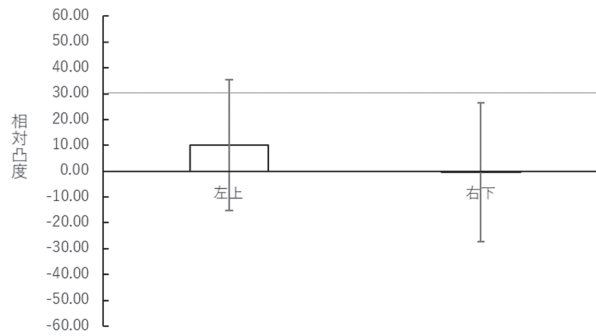


図 11 各光源位置条件における平均相対凸度と標準偏差

次に、各実験条件における凸度のマグニチュード推定値と統制条件における凸度の平均マグニチュード推定値との差分を求め、それを各実験条件における相対凸度とした。相対凸度について、光源位置、両眼視差方向、両眼視差量の 3 要因について被験者内 3 元配置分散分析によって分析した。

図 11、図 12 に各要因における平均相対凸度を示した。エラーバーは片側 1SD を示す。

図 11 に、各光源位置条件での平均相対凸度とその標準偏差とを示した。分散分析の結果、相対凸度に対して、光源位置の主効果が有意であった($F_{1,3}=15.36, p<.05$)。図 11 より、右下光源と比較し左上光源の方が相対凸度が有意に大きくなることが示された。

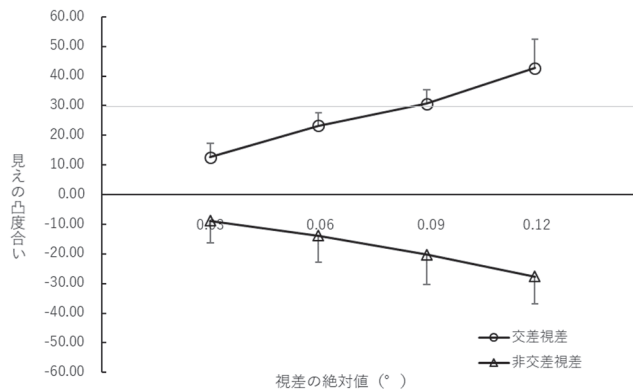


図 12 各両眼視差方向条件における平均相対凸度と標準偏差の両眼視差量に伴う変化

図 12 に、各両眼視差方向条件における平均相対凸度とその標準偏差の両眼視差量に伴う変化を示した。分散分析の結果、平均相対凸度に対する両眼視差方向と両眼視差量の交互作用が有意であった($F_{3,9}=43.06, p<.001$)。そこで単純主効果検定を行ったところ、両眼視差 0.06° ($F_{1,3}=59.57, p<.01$)、両眼視差 0.12° ($F_{1,3}=50.61, p<.01$)、両眼視差 0.18° ($F_{1,3}=62.84, p<.01$)、両眼視差 0.24° ($F_{1,3}=51.60, p<.01$)のすべての両眼視差量条件において両眼視差方向の単純主効果が有意であった。また交差性視差($F_{3,9}=28.81, p<.001$)、非交差性視差($F_{3,9}=30.14, p<.001$)のいずれの両眼視差方向条件においても両眼視差量の単純主効果が有意であった。これらの統計検定と図 12 から、非交差視差 (-) と比較し交差視差 (+) の方が相対凸度が大きく、さらに両眼視差が大きくなるほど相対凸度は交差視差では大きく、非交差視差では小さくなる傾向があった。また、非交差視差では交差視差と比較し、両眼視差量による相対凸度の変動が少ない傾向

が認められた。

このことから、光源位置についてはいずれの両眼視差方向、両眼視差量であっても左上光源の方が右下光源と比較し相対凸度が大きいことが認められた。両眼視差方向と両眼視差については交差視差の方が非交差視差よりも相対凸度が大きく、交差視差の場合、両眼視差が大きくなるほど相対凸度が大きくなり、非交差視差の場合、両眼視差が大きい条件の方が小さい条件よりも相対凸度が小さくなることが認められた。上記の通り、光源位置と両眼視差方向、両眼視差の3要因はいずれも相対凸度に影響を与え、相対凸度はこの三要因によって決定されるが、光源位置については、両眼視差方向、両眼視差量とは独立していることが示された。

4. 考察

本研究では、左上に光源を設定した物体面は凸に、右下に光源を設定した物体面は凹に知覚される光源位置の奥行き効果は、奥行きの方向や光源位置に関わらず一定であるという仮定のもと、光源位置と両眼視差の2つの手がかりを処理するとき「非交差視差のときには両眼視差の効果が弱まり、相対的に光源位置の効果が大きくなる」、「両眼視差量が大きいつきでは奥行き知覚の効果の増加量が小さくなり、相対的に光源位置の効果が大きくなる」という2つの仮説を立て、実験において刺激内に描いた光源位置と両眼視差とを操作してこれらの仮説を検証した。このように、光源位置と両眼視差の二つの奥行き手がかり間の相互作用及び優位性を検討することが本研究の目的であった。

光源位置については、左上光源では正の値、右下光源では負の値を示し、その絶対値が光源位置間で同程度であれば、仮説の前提となる「左上に光源を設定した物体面は凸に、右下に光源を設定した物体面は凹に知覚される光源位置の奥行き効果は、奥行きの方向や光源位置に関わらず一定である」が成立する。本実験においては図11に示したように左上光源の方が右下光源よりも相対凸度が大きくなることが明らかになった。しかし、図10の両眼視差0°条件での見えの凸度は刺激内の三角錐の頂点がいずれの光源位置でも凹に知覚されたことを示し、上記の先行研究に基づく予想よりも光源位置の効果は曖昧なものとなった。このことは、光源位置により知覚される奥行きに質的な差異が生じないことを示しており、「光源位置の奥行き効果は、奥行きの方向や光源位置に関わらず一定である」という仮説の前提となっている光源位置の奥行き効果を明確にすることができておらず、本実験における2つの仮説は検証できなかった。

両眼視差方向と両眼視差量について、安岡(2006)は両眼視差量が増加するほどその奥行きは増大し、逆に増加率は弱まる傾向が見られることを報告しており、本実験の結果でも図12に示したようにいずれの両眼視差条件でも交差視差では正、非交差視差では負の値を示し、いずれの両眼視差方向においても両眼視差量が増加するほど相対凸度の絶対値が大きくなる傾向が認められた。統計的にもこの傾向は明らかであり、両眼視差量が増加するほどその奥行きが増大する点では先行研究と同様であった。しかし、両眼視差量が増加するほど奥行き量の増加率が弱まる傾向については、本研究ではいずれの両眼視差方向においてもその傾向は認められなかった。このことから、「両眼視差量が大きいつきでは奥行き知覚の効果の増加率が小さくなり、相対的に光源位置の効果の大きさの増加量が大きくなる」という仮説は検証できなかった。

一方で、図12に認められるように、非交差視差における相対凸度の絶対値が交差視差と比較していずれの両眼視差の大きさでも小さく、その変化量も少ない傾向にあることから、交差・非交差視差は奥行き量が対称ではなく、非交差視差は交差視差に比べて奥行き知覚が曖昧であるとする Tam & Stelmach(1998)を支持する傾向が認められた。この結果から、「非交差視差のときには両眼視差の効果が弱まり、相対的に光源位置の効果が大きくなる」という仮説については検証できたと考えられる。しかし、光源位置と両眼視差方向、および両眼視差量との各交互作用は統計的に認められなかった。このこ

とからも、光源位置と両眼視差とは相互に独立して作用するものと考えられる。ただし、この点については、前提となる左上光源では凸に、右下光源では凹に知覚される光源位置の効果が奥行き方向や光源位置によらず一定であるという仮説が不成立であったことについて改めて慎重に検討する必要がある。

本研究では、光源位置と両眼視差の二つの手がかり間での奥行き知覚に及ぼす効果量の差の緩和や、奥行きの方向や光源位置に関わらず一定であるという光源位置手がかりの奥行き効果が Marr(1982)が述べた凸の嗜好性によって曖昧になる可能性を考慮し、刺激の複数呈示や輪郭線情報の付加、奥行き知覚訓練によって光源位置手がかりを強化を図った。この結果、光源位置手がかりでの凸の嗜好性について、図 10 より右下光源の方が奥行き量が小さい傾向はみられず、ある程度改善されたといえる。また、光源位置と両眼視差の奥行き知覚に及ぼす効果量の差の緩和については、図 11 や図 12 より光源位置間での相対凸度の差と両眼視差方向間での相対凸度の差は前者の方が著しく小さく、本研究で行った光源位置手がかりの強化は、仮説検証を行うのに不十分だったと考えられる。

両眼視差量についても以下の問題が指摘できる。Aubin & Arguin(2014)や本研究では奥行き知覚に及ぼす効果が両眼視差による手がかりと比較して光源位置では著しく小さかったため、両眼視差量の大きい条件を設定することは、2つの手がかり間の奥行き知覚に及ぼす効果量の差をより拡大する要因となる。この問題の解決策としては、眼球の輻輳開散運動を利用することが考えられる。安岡(2006)は輻輳角を 0° より輻輳、開散させても融像は可能であるが、輻輳角の絶対値が大きくなると複視が生じやすくなり、開散方向は輻輳方向より融像する範囲が狭いと述べている。このことから、両眼視差の小さい刺激強度を保ったまま増加率が減少に転じる両眼視差を実験条件の両眼視差の範囲に含めるためには、眼球を開散させた状態で実験を行うことが有効であると考えられる。

図 11 と図 12 より、本研究では光源位置による手がかりと両眼視差による手がかりによって得られる奥行き方向が整合している条件はいずれも非整合的な条件よりも相対凸度の絶対値が大きい傾向がみられ、これは統計的にも光源位置の主効果が認められていることから明らかである。この結果は、Aubin & Arguin(2014)の二つの手がかりは加算的で、各々独立して作用するという結論を支持する所見であると考えられる。加えて、光源位置による絵画的手がかりと両眼視差による手がかりとが拮抗する場合、両眼視差の持つ奥行き情報が優位となるとした Bulthoff & Mallot(1988)を支持する所見でもあり、光源位置と両眼視差で奥行き知覚に及ぼす効果の加重が質的に異なることで、手がかり間での奥行き知覚に及ぼす効果の大きさの差が生じていることをこれらの所見は示唆している。しかし、本研究では光源位置手がかりの強化や両眼視差量の操作に、なお改善の余地があり、それらを改善した上での改めての検討が必要であろう。

引用文献

- Aubin, M. & Arguin, M. (2014). Stereo and shading contribute independently to shape convexity-concavity discrimination. *Perception*, 43, 333-343.
- Bulthoff, H. H. & Mallot, H. A. (1988). "Integration of Depth Modules : stereo and shading", *Journal of Optical Society, A5*, 1749-1758.
- Gantz, L., Patel, S. S., Chung, Susana T. L., & Harwerth, R. S. (2007). Mechanisms of perceptual learning of depth discrimination in random dot stereograms *Vision Research*, 47, 2170-2178.
- 金子寛彦(2007). 4 立体・奥行きの知覚の手がかり 内川恵二・塩入諭(編) 視覚Ⅱ 一視覚系の中期・高次機能, 朝倉書店, 67-99.
- Kleffner, D. A. & Ramachandran, V. S. (1992). On the perception of shape from shading. *Perception & Psychophysics*, 52, 1, 18-36.
- Mamasian, P. & Goutcher, R. (2001). Prior knowledge on the illumination position. *Cognition*, 81, 1, B1-B9.

- Marr, D. (1982). Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information. The MIT Press.
- Peirce, J. & MacAskil, M. (2018). Building experiments in PsychoPy. SAGE. LONDON.
- Ramachandran, V. S. (1988). Perception of shape from shading. Nature, 331, 163-166.
- Stevens, K. A. & Brookes, A. (1986). "Inregrating stereopsis with monocular interpretations of planer surfaces". University of Oregon Technical Report, CIS-TR-86-05.
- Sun, J. & Perona, P. (1998). Where is the sun? Nature Neuroscience, 1, 3, 183-184.
- Tam, W. J. & Stelmach, L. B. (1998). Display duration and stereoscopic depth discrimination. Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale, 52, 1, 56-61.
- Wheatstone, C. (1838). Contributions to the physiology of vision, Part 1: On some remarkable and hitherto unobserved phenomena of binocular vision. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 128, 371-394.
- 安岡晶子(2006). 奥行き知覚と大きさ知覚に及ぼす両眼輻輳の影響—交差視差・非交差視差両条件における比較— 甲南女子大学大学院論集, 4, 11-18.

(2021年 1月 22日 受付)
(2021年 2月 15日 受理)