

垂直-水平錯視再考

—明所視, 薄明視および暗所視が錯視量変化に及ぼす影響—

小原 宏基・川合 悟

はじめに

研究背景

垂直-水平錯視 (Vertical-Horizontal Illusion; 以後, VHI)とは、物理的に同じ長さの垂直線分と水平線分を逆T字型「⊥」あるいはL字型「┌」に接して観察した際に、水平線に比べて垂直線が長く見える錯視現象をいう (Fick, 1851; Oppel, 1855; 大山, 2005; 北岡, 2005, 2010)。Fick (1851)により初めて紹介されたことから「Fick illusion」とも呼ばれる。Fickの報告以降、錯視に関与する物理的要因 (垂直線と水平線の接点位置, 刺激を提示する背景, 提示時間, 実験室の明暗など)や観察者要因 (単眼視, 両眼視, 姿勢, 性差など)について多くの研究がなされ、多くの知見が報告されてきた。

また近年になっても認知科学の観点から、外界情報の80%を依存している視覚の処理機構 (Zimmermann, 1976) を、VHIを用いて解明しようとする研究者も少なくない (Ro & Rafal, 1996; Howe & Purves, 2002; Wolfe, Maloney, & Tam, 2005; Yacoub, Harel, & Ugurbil, 2008; de Montalembert & Mamassian, 2010)。

このように、VHI研究には長い歴史と新たな方向性が見えてはきたものの先行研究の結果は多様であり、十分に検証されているとは言い難い。一例を挙げると基準線 (以後、底線)と垂直線 (以後、帆線)を変化させただけでも結果は分かれている。Künnapas (1955)は錯視は水平線の midpoint で最も強く、左右の端点に行くほど徐々に弱まるという「V字型」の錯視量変化を提案しているが、Marma, Bulatov, & Bulatova (2015)は「M字型」、すなわち midpoint で最も強く、左右両端でやや影響を受け、midpoint と端点の間では逆の方向に影響を受けると報告した。このような結果の差異は、これら二つの研究が、明所視 (Künnapas, 1955)と暗所視 (Marma et al., 2015)という実験環境の違いで生じた可能性がある。

一方、VHIへの明暗の影響に関する先行研究の中には、Fick (1851) 自身「暗い背景上の明るい正方形は垂直方向に長く見える」との指摘が見られる。Ritter (1917) は外光を遮断しライトの数 (8個 vs. 7個)を変化させL字型および逆L字型に対する錯視量を測定し、錯視量に差異がないことを報告した。Künnapas (1957b)は、L字型図形を用いて明所視 (150Wのライト)と暗所視 (ライトの消灯)での錯視量を測定し、明所視 (92.9%)の方が、暗所視 (95.2%)に比べて有意に錯視が強くなることを報告した。Avery & Day (1969)は、直線の光束を0.15 mlとし実験室のカーテンや扉

の開閉によりL字型図形に対する錯視量を測定したが、暗所視 (97.4%), 薄暗がり (95.6%), 明所視 (94.1%)と、明るさに応じて錯視が強くなる傾向が見られたが有意な差異は認められなかった。

Prinzmetal & Gettleman (1993)は、フィルター付メガネで暗所視 (背景輝度: 0.01 cd/m²; 線の輝度: 0.24 cd/m²)と明所視 (背景輝度: 11.4 cd/m²; 線の輝度: 35.5 cd/m²)をつくり、L字型図形での錯視量を測定し、明所視 (96.9%)の方が暗所視 (98.3%)よりも錯視が強くなることを示した。しかし彼らは統計的な比較は行っていない。江草・御領 (1998)も、明るさを13段階 (1.20 ~ 2.40 cd/m²)に分け、逆T字型の錯視量を測定しているが、実験参加者数が少なく (n = 4), 個人差も大きく有意な差異は認められなかった。このように先行研究は対立している。

以上をまとめると、VHIの錯視量の変化は、明暗の影響および図形の帆線と底線の接点位置の影響を受けることは確かなようであるが、その動態は依然として不明瞭である。先行研究から概観すると、明るい時の方が暗い時に比べて錯視が強くなるという傾向はありそうであるが、刺激として用いられるVHI図形によって、すなわち帆線と底線の接点位置による錯視量変化についてはまだ不鮮明であり、さらに明暗を操作した中での影響についてはまだ報告はみられない。

そこで本研究では、5種類のVHI図形を用い、明暗がVHIの錯視量に及ぼす影響を検討することにした。なお明暗の定義は松田 (1997)に従い、暗所視 (scotopic vision)とは「わずかな星明かりで白紙がぼんやり視認ができる」(< 1.0 lx)、薄明視 (mesopic vision)とは「黄昏時の物の色と形がいくらか視認できる」(1.0 ~ 10 lx)、明所視 (photopic vision)とは「物の色と形がはっきりと視認できる」(10 lx <)として取り扱った。仮説1として、VHIの錯視量は明暗の影響を受け、明るい方が暗い方よりも強くなるとした (Künnapas, 1957b)。仮説2として、接点位置に対する錯視量変化は、先行研究にならい横軸を接点位置とし、縦軸を錯視量と設定したときに明所視ではV字型 (Künnapas, 1955)、そして暗くなるにつれてM字型 (Marma et al., 2015)に変化するとした。

方法

実験参加者

健康な成人28名 (男性15名, 女性13名; 平均年齢20.6 ± 1.97 歳)が同意の上実験に参加した。実験参加者のす

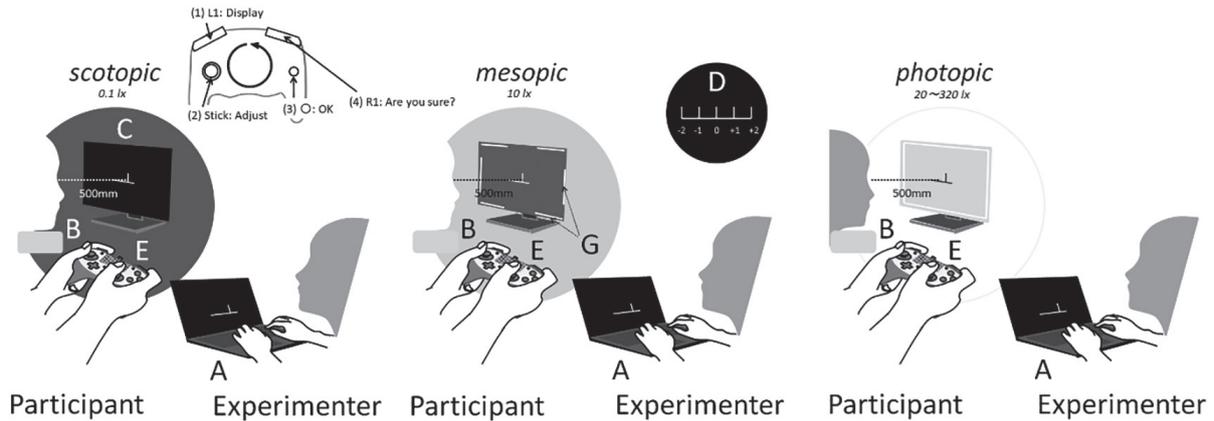


Figure 1 実験の概略図 実験室の光が遮断され (< 1.0 lx), 実験者のパソコン (A)ですべて制御された。刺激図形はchin-rest (B)に顎を載せた実験参加者から500 mmの距離にあるmonitor (C)に表示された。底線 (50 mm)上の5つの接点位置 (D)のいずれかの点から任意の長さの帆線が表示された。実験参加者はゲームコントローラ (E)のボタンとジョイスティックを操作 (F)して、底線と同じ長さになるように帆線の長さを調整した。Monitor (C)と棒状のLED (G)の光量を調節して、暗所視 (scotopic: < 1.0 lx), 薄明視 (mesopic: 10 lx), 明所視 (photopic: 20 ~ 230 lx)の3条件を設定した。照度は目の直前で計測した。

べてが課題遂行に支障を与えるような知覚運動機能および視覚機能はなかった。なお日常生活において眼鏡やコンタクトを着用している実験参加者はそれらを着用して課題を行った。なお、本実験は帝塚山大学倫理委員会の承認 (29-03)を経て、実験参加者に対して倫理的配慮の下に実施した。

実験環境

VHI図形 Figure 1に実験の概略図を示した。実験刺激 (VHI)の提示、操作およびデータの記録はパソコン (Windows 7)上で行った (Figure 1-A)。Visual Studio 2012 (Microsoft社製)を用いて、以下のように刺激提示、帆線の変化量、各試行の記録ができるプログラムを作成した。

刺激は、実験参加者の前に、机面に対して垂直に設置されたフルフラットなパソコン画面 (Figure 1-B; ㈱日本HP製, 20 inch TFTフラットパネルモニター, HP LP2065, Japan)上に提示された。底線の長さは50 mm (172 pixel), 幅3 mm (10 pixel)でパソコン画面の中央に水平位にされた。一方、実験参加者が長さを調整する帆となる帆線 (幅3 mm)は、底線を5等分し (Figure 1-D), 5つの開始点のいずれかが提示され、その点から垂直方向に線分が伸縮できるようにした。底線と同時に提示される帆線の長さの初期値は、底線よりも任意に短い線分 (上昇系列)あるいは長い線分 (下降系列)を提示し系列効果を相殺した。また、線分の色は照度条件によって、白色 (#FFFFFF; 暗所視・薄明視)と黒色 (#000000; 明所視)が用いられた。

帆線の長さの調整は、ゲームコントローラ (Figure 1-E; ㈱ホリ製, HORIPAD FPS PLUS, Japan)を用いて実験参加者自らが容易に調整できるようにした。操作に不慣れた実験参加者も容易に理解し、また暗室でも容易に操作できるよう3操作で一試行が完結できるようにした (Figure

1-F)。すなわち、① [ジョイスティック (左)]に触れると図形表示と長さの調整開始、② [右○ボタン]で調整終了、③ [R1ボタン]で確定、試行終了の3操作だった。[R1ボタン]の設定は、実験参加者が確認、再調整できるという意味だけでなく、指先からの能動触覚ではなく (Heller, Calcaterra, Burson, & Green, 1997), 視覚からのフィードバックに最終的に依存するという意味で重要だった。試行から得られた実験参加者のPSEデータは、自動的に条件や実験参加者の情報とともに記録され、その後の分析に用いられた。ジョイスティックの移動方向と帆線の伸縮方向は一致させ3 pixel/秒で描画させた。帆線は5 pixel (1.45 mm)ごとに動かすことができた。なお、実験参加者の操作はすべて実験者用パソコン画面 (Figure 1-A)に表示させ、実験者が確認することができた。

要因の操作 照度 (7条件)および接点位置 (5条件)の二要因を実験変数とした。照度の統制のため、実験にはアビテックス防音室を使用し、部屋に入る光はすべて遮断した。次に、パソコン画面由来の光源 (0, 10, 20, 40 lx)とパソコンのフレームに装着したLED (Figure 1-G; 白色)の光源 (0, 40, 120, 280 lx)を組み合わせ、暗所視1条件 (< 1.0 lx), 薄明視1条件 (10 lx), 明所視5条件 (20, 40, 80, 160, 320 lx)の計7条件 (Figure 2)の照度条件を設定した。なお照度は、Monitorの中心から500 mm離れた実験参加者の眼前にデジタル照度計 (㈱メーター名人, LX1010B: 1 ~ 50000 lx)を設置して照度を決定した。この照度条件を実験中終始維持するため、衝撃緩衝マットを敷いたchin-restを用い、実験参加者に顎を載せるよう求めた。これにより、実験中の視軸の水平位と画面との距離の維持に努め、照度条件を維持した (Figure 1-B)。照度条件は各実験参加者に対して疑似ランダムに配置した。次に接点位置の統制は、基本図形 (⊥)の底となる底線 (50 mm)の左端点から

-2 (-25 mm), -1 (-12.5 mm), 中点を0, +1 (+12.5 mm), +2 (+25 mm)の5水準で表した (Figure 1-D)。なお照度条件ごとに、5か所について疑似ランダムに与えられた。各照度および各接点位置に対して、上昇系列と下降系列について3試行ずつ与えられたので、各条件は計6試行となった。結果、実験参加者の総試行数は210 (7×5×6) 試行となった。

実験手続き

実験参加者は、実験についての説明を受けた後、実験参加の同意を求められた。実験参加者は実験用の椅子に着席した。(1)実験参加者の視軸が水平に保たれ、また姿勢が安楽に維持できるように背もたれの角度が調節された。

次に(2)足底が届き、実験参加者の視軸とパソコン画面の中心(上の二本線の接点)が水平になるよう椅子の高さ、続いて実験参加者の前に設置されたchin-restの高さが調整された。次に(3)眼球からパソコン画面までの距離(500 mm)かつ視軸が底線の中点に維持される位置に、椅子およびchin-restの前後および左右の微調整が行われた。

実験開始前に練習試行が行われ、コントローラの三操作(表示・調整→終了→確定)が間違えることなく、暗所でもできることが確認された。実験課題は、底線(50 mm)に対して、5か所のいずれかの位置から帆線を伸縮させ、同じ長さに調整することだった。実験参加者は開始ボタンによって、表示された底線と帆線の長さが等しくなるようジョイスティックを操作した。そして、底線と帆線の長さが等しいと判断した場合、終了ボタンを押し一試行を終えた。いずれの条件においても実験参加者は同じ調整法で試行を行った。

なお、明暗実験で配慮すべきことは、順応への対応だった。明順応(~60秒)に比較して、暗順応は、順応時間に依

存して知覚される明るさが影響を受けることが報告されている(Hartline, 1940; 松田, 1997)。しかし、実験時間の制約および実験参加者の負担もあり、本実験では照度条件間の順応時間は2分間とした。一試行は10秒から10数秒程度と短時間であるが、暗所、明所での単調な繰り返し試行であるため眼精および精神疲労等を配慮し、休息を入れ実験参加者の要望にも応じた。休息中は実験室の照度は80 lxにした。実験時間は約70~120分程度を要した。

錯視量の定義

実験によりパソコンに記録された主観的等価点(PSE; mm)を用いて、底線(100%)を基準として、底線よりも短く知覚した場合の錯視量(錯視の強さ)を $PSE < 100\%$ とし、逆に長く知覚した場合の錯視量を $PSE > 100\%$ と示した。例えば、錯視量が120%であれば、底線よりも20%長く知覚したことを表し、錯視量が85%であれば底線よりも15%短く知覚したことを表している。

分析方法

PSEが記録されたExcelデータはIBM SPSS Statistics 22 (Windows 7)によって記述統計および統計処理を行った。各条件、6試行の平均値を代表値とし、各実験参加者のデータを条件ごとに錯視量をまとめた。序論で設定した仮説1(明暗の影響)、仮説2(明暗と接点位置の影響)について、実験参加者の代表値に対して、対応のある×対応のある二要因分散分析(7照度×5接点位置)を実施した。統計の有意水準は5% ($p < .05$)とした(竹原, 2013)。

結果

Table 1は、照度および接点位置の各条件別の錯視量(%)の平均値および標準偏差を示している。行に照度条

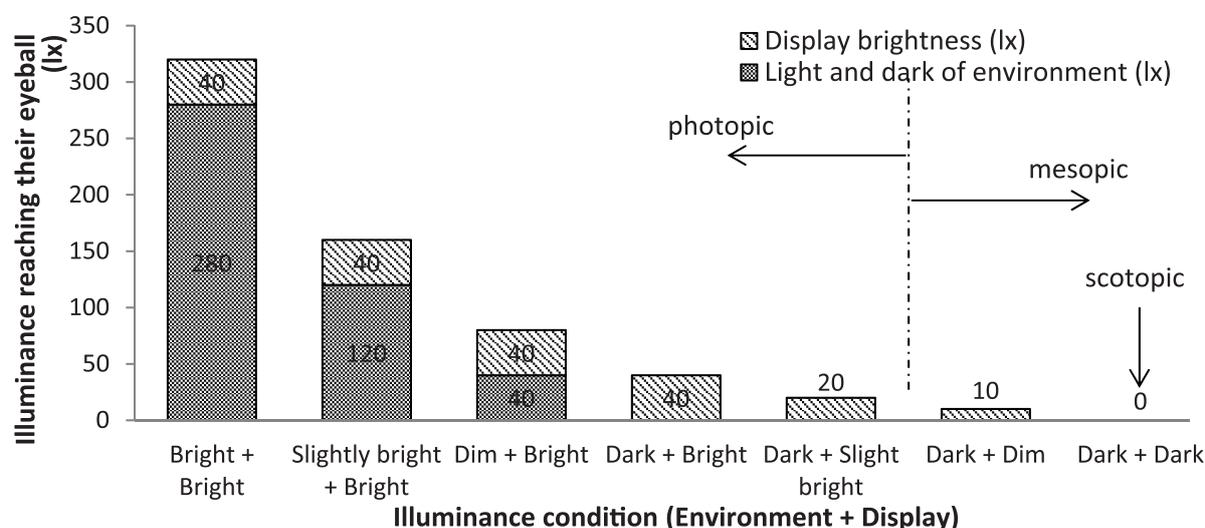


Figure 2 照度条件 照度条件は暗所視・薄明視・明所視が含まれる範囲とし、画面の明るさと(0~40 lx)とLEDライトの明るさ(0~280 lx)を組み合わせて全範囲を網羅できる条件とした。

件, 列に接点位置の結果を示した。明所視では各照度条件に加えて5条件の各実験参加者の平均値 (average)も合わせて示した。すべての錯視量はいずれの照度条件および接点位置において, 底線 (50 mm)よりも短く評価された。

二要因分散分析 (7照度×5接点位置)の結果からは, 照度 ($F(6, 162) = 4.98, p < .001$)および接点位置 ($F(1.78, 48.17) = 8.34, p < .001$)にはいずれも有意な主効果がみられた。次に照度と接点位置の交互作用効果については有意でなかった ($F(8.64, 233.4) = 1.35, n.s.$)。多重比較 (Bonferroni)の結果からは, 照度については, 暗所視 (<1.0 lx)条件と明所視の20 lx ($p < .05$), 80 lx ($p < .001$), 160 lx ($p < .05$)との間にそれぞれ有意差が認められた。つまり, 暗所視の方が明所視に比べて有意に錯視の影響が減弱し, 最大では18.25%程度減弱された。次に接点位置については, 接点位置「0」と「-1」間 ($p < .001$), 「0」と「+1」間 ($p < .001$), 「-2」と「+1」間 ($p < .05$)において有意差が認められた。つまり, 中点を底とし, 中点と端点との間で錯視量が減弱するM字型を呈した。

Figure 3は, 明所視の5条件間に有意差が認められなかったことから, 各実験参加者の平均値の平均値 (Table 1: Average)を明所視の代表値として, 暗所視 (< 1.0 lx), 薄明視 (10 lx)の結果とともにカテゴリ別に示している。図や表からも明らかなように, 例えば明所視 (320 lx)の場合, 左右端点の「-2」では86.8%, 「+2」では87.9%であり, 中点「0」では85.3%, 端点と中点の間である「-1」では88.8%, 「+1」では90.1%であった。また暗所視 (0 lx)の場合では, 左右端点の「-2」では86.8%, 「+2」では89.4%であり, 中点「0」では87.4%, 端点と中点の間である「-1」では91.4%, 「+1」では92.2%であった。他の条件においても同様の結果となっており, 接点位置に対する錯視の現れ方は, 照度に関わらず, 中点を底とするM字型を呈した。二要因分散分析(明暗所視×接点位置)の結果でも, 明暗所視の主効果 ($F(1.47, 39.76) = 10.53, p < .001$)および接点位置の主効果 ($F(1.78, 47.93) = 7.68, p < .01$)はいずれの要因も有意であった。しかし, 明暗所視と接点位置の交互作用効果は認められなかった ($F(4.43, 119.58) = 2.23, n.s.$)。多重比較の結果からは, 明暗所視については, 「暗所視」と「薄明視」との間 ($p < .05$), 「暗所視」と「明所視」との間に有意差が認められた。また接点位置については, 「-2」と「+1」 ($p < .05$), 「-2」と「+2」 ($p < .05$), 「-1」と「0」 ($p < .001$), 「0」と「+1」 ($p < .001$)との間に有意な差異が認められた。

考察

明暗がVHIの錯視量の現れ方に及ぼす影響を検証した。先行研究では, 先述したように対立がみられていた。

そこで本研究では人間の眼は桿体細胞と錐体細胞によって成り立っていることから, 明るさによりそれらの細胞が別々に反応することからVHIの錯視量は影響を受け, 明るい方が暗い方よりも強くなるとするKünnapas (1957b)の結果を仮説1とした。さらに, 明暗が接点位置の現れ方にも影響を及ぼすのかについては, 接点位置が視空間処理に依存している (Wolfe et al., 2005), また, 明所視での錯視量の変化形状はV字型 (künnapas, 1955)であり, 暗所視での錯視量の変化の形状はM字型になる (Marma et al., 2015)ことから, 「接点位置に対する錯視量の変化は, 明所視ではV字型, そして暗くなるにつれてM字型 へ変化するとした。」を仮説2として, 実験を行った。

結果は, 明暗はVHIの錯視量に影響し, 暗所視 (< 1.0 lx)の方が薄明視 (1.0 ~ 10 lx)や明所視 (20 lx <)よりも有意に減弱し, 「影響を受けない」というAvery & Day (1969)

Table 1 照度・位置条件別の錯視量 (%)の平均値および標準偏差

Vision	illumination (lx)	Contact position					
			-2	-1	0	+1	+2
Scotopic	<1.0	mean	86.8	91.4	87.4	92.2	89.4
		S.D.	4.5	5.6	8.0	6.9	5.4
Mesopic	10	mean	86.7	88.9	85.8	89.2	87.9
		S.D.	6.1	7.5	9.3	7.9	5.9
Photopic	20	mean	87.3	89.1	84.7	89.8	88.6
		S.D.	6.0	7.2	8.5	7.1	5.8
	40	mean	86.3	88.6	85.4	90.3	87.9
		S.D.	5.8	5.2	6.9	8.2	7.7
80	mean	86.0	88.9	84.2	89.5	87.0	
	S.D.	5.5	7.2	7.9	6.1	5.9	
	160	mean	86.8	89.7	84.2	89.6	87.6
		S.D.	5.4	8.0	8.2	7.6	5.3
320	mean	86.8	88.8	85.3	90.1	87.9	
	S.D.	6.3	7.8	8.7	8.3	5.5	
Average		mean	86.9	88.2	84.8	89.0	87.9
		S.D.	5.9	6.8	8.1	6.8	5.6

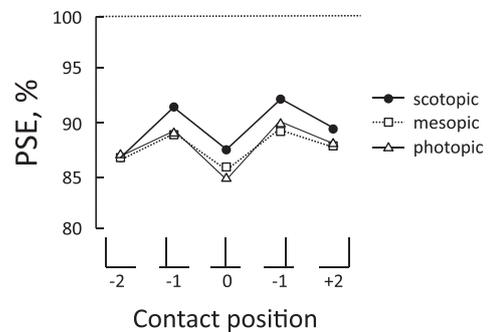


Figure 3 明暗・接点位置別にみたPSE 暗所視 (●), 薄明視 (□)および明所視 (△:5条件の平均)を示している。横軸は接点位置を示し, 縦軸はPSEを示し底線 (100%; 50 mm)に対する割合 (%)として表している。したがって点線では底線とPSEの値が等しく錯視が生じていない。点線の下方向がPSE < 100%となり帆線分が過大視され錯視が生じていることを意味している。

の主張を退け「暗所視の方が減弱する」というKünnapas (1957b)の主張を採択した。次に接点位置への現れ方への明暗の影響については、明暗の程度に関わらず一貫してM字型の錯視量変化を呈した。したがって、Künnapas (1955)が報告したV字型を呈した結果は明暗によるものではないことが確認できただけでなく、接点位置によって生じるM字型変化は暗所視だけでなく、薄明視や明所視にも当てはまる普遍的な現象であることが明らかになった。

しかし、この結果から確認すべき新たな問題が見出された。それは、明るさが錯視量に影響するとすれば、明暗に対する順応時間もまた錯視に影響する可能性として考えざるを得ないという問題である。特に暗順応では、明順応の即応性(15~60秒)に比べ、適応にかなり長い時間(~30分)を要し、また、経過時間と知覚される明るさの間には非直線的な関係が報告されている。つまり暗所ではより長く順応に時間をかけたほうが、同じ光源であっても感度が上がり観察者の感じる明るさが異なってくる(Hartline, 1940)。このことについては、改めて要因として検討する必要がある。

さらに、ここで気にしなければならないことは、今回照度を制御するために使用したLEDやパソコンの画面自体がフレームとなっていないかどうかである。フレームの影響は、形状・大きさ・複雑さなど様々な視点があるが、形状一つをとっても横に長いフレームと縦に長いフレームで錯視量に影響を与えるとする研究者(cf. Künnapas, 1957a)と変わらないとする研究者(cf. Avery & Day, 1969)があり、いまだに結果に対立がある。本研究では、Figure 1の通り、明所視・薄明視・暗所視のどの条件でも同じフレームが見えている。このことから、Künnapas (1957a)の主張通りに「VHIにはフレームの影響がある」と仮定しても、どの条件下にも当てはまることであるため、影響は相殺できると考えられる。但し、今回フレームについては統制したわけではないので、これ以上の言及は避けることとする。

明所視は、中心窩付近の錐体細胞の多い領域で処理

されるため錐体視(Cone vision)とも呼ばれ、暗所視は、中心窩の周辺の桿体細胞の多い領域で処理されるため桿体視(Rod vision)とも呼ばれる。そして照度によってこれら視細胞が異なって関与することはよく知られている(松田, 1997)。そして、明暗の変化に応じて錯視の感受性がそして、明暗の変化に応じて錯視の感受性が明所視の方が暗所視よりも錯視が弱くなるという影響を受けたこと、また、暗所への順応時間も錯視の感受性に影響したという本結果を考慮すると、本研究の結果は、暗所条件で活躍する桿体細胞が強く機能した可能性が示唆される。桿体細胞は、輪郭や白黒のエッジなどの処理に貢献しており、幾何学的錯視図形の図形知覚に関与していることもよく知られている(松田, 1997)。

ここで興味深いのは桿体細胞の網膜上の分布特性である。Figure 4-Aに、視細胞の一般的な分布図(Pirenne, 1967)を示す。水平断面図(Figure 4-A)でみると桿体細胞は中心窩では激減し周辺20~30°でもっとも多く、以後、角度が広がるに連れて減少するというM字型を呈している。さらに細胞の多さは感受性に影響するため、接点位置の変化に伴ってM字型に変動する錯視量は、桿体細胞に依存している可能性が考えられる。

Wolfe et al. (2005)は、水平線分(27.3 mm)の接点位置を11に細分し、垂直線分への錯視量を調べ、個人差を考慮して標準化したうえで錯視量の変化パターンを比較した。結果は、垂直線分が中点から少しでも左右にずれると(±10%)、途端に急激な減弱(steepest decrease, p.972)が生じると報告した。Wolfe et al. (2005)自身は、この劇的な減少を垂直線と水平線の対称性の崩れで説明しようとしているが、対称性の崩れだけでは変化のパターンが説明できないこともまた認めている。それに対して、網膜での視細胞の分布図(Figure 4-A)に目を向けると、中心窩から極めて狭い領域で桿体細胞が激減している点や分布のピークなどは錯視量の変化特性によく符合している。

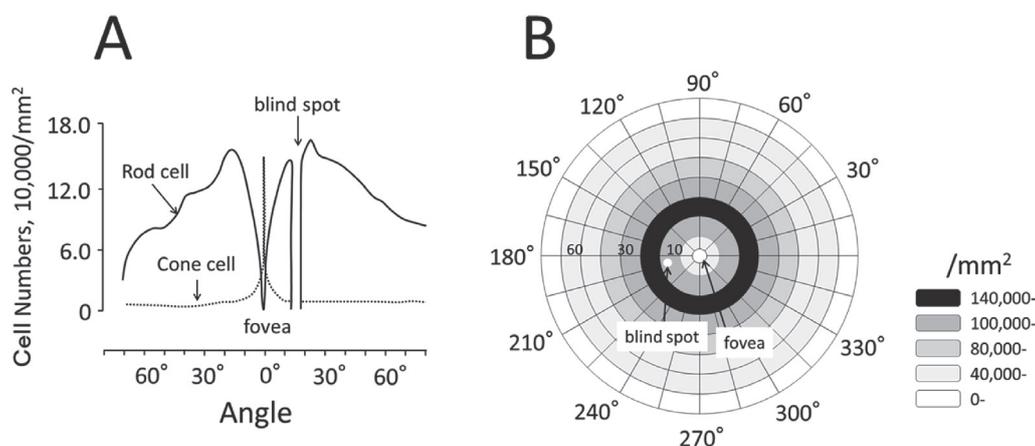


Figure 4 視細胞の分布 AはPirenne (1967)の知見を改変錐体した。桿体(Rod)と錐体(Cone)の分布(左眼:水平断面位)。中心窩(fovea)では錐体が占め、20~30°で桿体が最大となる。Bは桿体細胞の分布を、網膜全体として模式化(左眼)。

次に、VHIにおける錯視量のM字型の変動は、単眼でも、両眼でも、図形の縦横の向きを変化させても変わらなかったことを考えると(小原・渡邊・川合, 2016a, b), 水平断面(Figure 4-A)で考えるよりも、網膜上の桿体細胞の分布として模式化(Figure 4-B)すると説明が可能となる。そして本結果は、この分布に依存したM字型の変動が、変動の現れ方を変えることなく、明暗に基づく感受性の変化だけが影響したと推察した。またこれは松田(1997)が示す明るさによって関与する視細胞が異なり、明所視は錐体視、暗所視は桿体視とさえ呼ばれるということからも関係性があるように思われる。しかし、この部分に言及するためには、本実験の条件では短時間提示などによる眼球運動を抑制する要因の統制を行っていないため、今後の研究課題にしたい。

本研究では、VHIの基本となる底線と帆線との接点位置に関して、周囲の明るさを変えた環境(暗所視、薄明視および明所視)下での錯視量の変化について明らかにした。しかし、今回の検証でさらに解明が必要になった要因として、提示時間の長さ、視細胞の影響およびKünnapas(1955)が示したV字型の原因の究明がある。さらに、本研究の目的である視知覚機構の解明のためには、他の物理的要因(たとえば二本線のなす角度、俯仰角、背景など)や観測者要因(姿勢、性差、感覚など)について今後とも明らかにする必要がある。

要約

明暗が垂直-水平錯視(VHI)の錯視の現れ方に及ぼす影響を検証した。先行研究では、暗所視の方が明所視よりも錯視の強さが減弱するという報告(Künnapas, 1957b)と照度には影響を受けないとする報告(Avery & Day, 1969)があり、明確でなかった。さらに、接点位置による錯視量変化が明暗によりM字型になるのかV字型になるのかも検証した。成人28名が、パソコン上に提示された底線(50 mm)上の5点のいずれかから垂直に伸びる帆線の長さを、底線と同等の長さに見えるように調整させた。実験参加者の眼前の照度を統制し、7×5(照度×接点位置)条件で各条件について6試行(計210試行)が実施されPSEが測定された。結果、明暗はVHIの錯視量に有意に影響し、暗所視(< 1.0 lx)の方が薄明視(10 lx)や明所視(20 lx)よりも有意に減弱し、暗所視の方が減弱するというKünnapas(1957b)の主張を支持した。興味深いことに、順応時間が短かった(8~12 min.)暗所視条件での本研究結果に比べて、十分だった(45~60 min.)先行研究結果の方が錯視はさらに減弱していた。一方、接点位置への現れ方への影響については、明暗の程度に関わらず一貫してM字型の錯視量変化が表れた。このことはKünnapas(1955a)が得られたV字型の結果は明暗によるものではないことが確認できただけでなく、M字型変化は暗所視だけでなく、薄明視や明所視にも当てはまる普遍的な現象であることが明らかに

なった。

引用文献

- Avery, G. C. & Day, R. H. (1969). Basis of the horizontal-vertical illusion. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 2, 376-380.
- de Montalembert, M. & Mamassian, P. (2010). The vertical-horizontal illusion in hemi-spatial neglect. *Neuropsychologia*, 48, 11, 3245-51.
- 江草 浩幸・御領 謙 (1998). 幾何学的錯視に対する図形と背景の輝度差の効果 国際医療福祉大学紀要, 3, 71-77.
- Fick, A. (1851). De errore optico quodam asymmetria bulbi oculi effecto. Koch, Marburg.
- Hartline, H. K. (1940). The nerve messages in the fibers of the visual pathway. *Journal of the Optical Society of America*, 30, 39-247.
- Heller, M. A., Calcaterra, J. A., Burson, L. L., & Green, S. L. (1997). The tactual horizontal-vertical illusion depends on radial motion of the entire arm. *Percept Psychophys*, 59, 8, 1297-1311.
- Howe, C. Q. & Purves, D. (2002). Range image statistics can explain the anomalous perception of length. *PANAS*, 99, 20, 13184-13188.
- 北岡 明佳 (2005). 2.1: 幾何学的錯視, 錯視の科学ハンドブック(後藤 卓男・田中平八編)東京大学出版会, 東京, 56-100.
- 北岡 明佳 (2010). 1: ものの大きさや傾きが変わって見える錯覚—幾何学的錯視—フィック錯視と上方の過大視 錯視入門, 朝倉書店, 10-11.
- Künnapas, T. M. (1955). An analysis of the "Vertical-Horizontal illusion". *Journal of Experimental Psychology*, 49, 2, 134-140.
- Künnapas, T. M. (1957a). Vertical-Horizontal illusion and surrounding field. *Acta Psychologica*, 13, 35-42.
- Künnapas, T. M. (1957b). The Vertical-Horizontal illusion and the visual field. *Journal of Experimental Psychology*, 53, 6, 405-407.
- Marma, V., Bulatov, A., & Bulatova, N. (2015). Psychophysical Study of Vertical-Horizontal Illusion, *Proceedings of 37th International Conference of Biomedical Engineering*, 19, 1, 70-73.
- 松田 隆夫 (1997). 視感覚系の機能と明暗の知覚 視知覚, 培風館, 東京, 53-67.
- 小原 宏基・渡邊 拓人・川合 悟 (2016a). 垂直-水平錯視再考—II. 垂直線を基線とする錯視量カーブ—, 日本応用心理学会第83回大会発表論文集, 14.
- 小原 宏基・渡邊 拓人・川合 悟 (2016b). 垂直-水平錯視再考—錯視量カーブの形状検討— 関西心理学会第128回大会発表論文集, 43.
- Oppel, J. J. (1855). Über geometrisch-optische Täuschungen., *Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt am Main*, 37-47.
- 大山 正・後藤 卓男・田中平八 (編) (2005). 1.1. わが国における「錯視」研究の歴史, 錯視研究の意義 錯視の科学ハンドブック, 東京大学出版会, 東京, 2-14.
- Pirenne, M. H. (1967). *Vision and the eye*. London: Chapman

& Hall.

- Prinzmetal, W. & Gettleman, L. (1993). Vertical-horizontal illusion: One eye is better than two, *Perception & Psychophysics*, 53, 1, 81-88.
- Ritter, S. M. (1917). The vertical-horizontal illusion: An experimental study of meridional disparities in the visual field. *The Psychological Monographs*, 23, 4, i-115.
- Ro, T. & Rafal, R. (1996). Perception of geometric illusions in hemispatial neglect. *Neuropsychologia*, 34, 10, 973-978.
- 竹原 卓真 (2013). 増補改訂2要因の分散分析をすべてカバー SPSSのススメ(1), 北大路書房, 京都.
- Wolfe, U., Maloney, L.T., & Tam, M. (2005). Distortions of perceived length in the frontoparallel plane: Tests of perspective theories. *Perception & Psychophysics*, 67, 967-979.
- Yacoub, E., Harel, N., & Ugurbil, K. (2008). High-field fMRI unveils orientation columns in humans. *PNAS*, 105, 30, 10607-10612.
- Zimmermann, M. (1976). Neurophysiology of Nociception. In: International Review of Physiology. *Neurophysiology II. Potter, R.(ed.)* University Park Press, Baltimore, X, 179-221.

The Vertical-Horizontal Illusion Revisited: Effects of Photopic, Mesopic, and Scotopic Vision on Its Quantitative Variation

Hiroki OHARA and Satoru KAWAI

Abstract

Previous studies on the effects of photopic (P-), mesopic (M-), and scotopic (S-) vision on quantitative variation in vertical-horizontal illusion (VHI) strength are contradictory. We investigated VHI, illumination brightness, and intensity under these vision conditions. We also verified whether the amount of illusion is M-shaped or V-shaped depending on the position and brightness of the contact point between the vertical and horizontal lines. Twenty-eight adults adjusted a vertical line with different lengths and contact positions on a 50-mm horizontal line to the same perceived length as the horizontal line. Point of subjective equality was measured for 210 trials (six trials of $7 \times$ illumination intensity positions \times 5 contact positions). Perceived length was significantly affected by illumination; the illusion was stronger under M-vision and P-vision than under S-vision. In S-vision conditions, illusion strength decreased with longer acclimation. An M-shaped pattern was demonstrated for all three vision conditions, suggesting that this pattern is consistent across VHI conditions, but that the association between spectral sensitivity and illusion strength is affected by brightness.

Keywords: Vertical-horizontal illusion; photopic (P-) vision; mesopic (M-) vision; scotopic (S-) vision