

垂直-水平錯視再考

—研究のあゆみと課題—

小原 宏基・川合 悟

はじめに

研究背景

垂直-水平錯視 (Vertical-Horizontal Illusion: VHI; Figure 1)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「└」にして観察した際に、水平線分に比べて垂直線分が長く見える現象のことをいう (Fick, 1851; Oppel, 1855; Künnapas, 1955a, b; Robinson, 1998; 大山, 2005; 北岡, 2005, 2010)。この錯視は Fick (1851)により初めて報告されたことから「Fick illusion」とも呼ばれ (北岡, 2010; Hilano & Yanaka, 2011; Kinoshita, Tang, & Ishii, 2012; Chouinard, Unwin, Landry, & Sperandio, 2016; Murakami, Mizuno, Yamanaka, Huo, & Murakami, 2019), 以後, Oppel (1855)を始め多くの研究者によって 150 年以上もこの錯視の現象や発生機序の解明に関する研究がなされてきた。

これまでの VHI の研究を調査すると、さまざまな実験環境下で、しかも、さまざまな観察者に対して VHI の発生の有無あるいはその錯視の大きさが報告されている。これらの結果から、VHI の発生にはいろいろな要因が複雑に絡み合っていることが示唆され、VHI の発生要因を明らかにするためには、各種実験環境の違いやどのような観察者なのかを整理分析する必要がある。

調査した文献においても、VHI の文献を整理分析した研究は存在する (大野, 1959, 1961; 今井, 1960; 平井, 1972; Robinson, 1998)。例えば、大野 (1959)は先行研究を現象的要因 (11 件)と生理的要因 (18 件)の観点から整理した。すなわち、現象的要因とは刺激のもつ物理特性の影響を指し、錯視図形の形状や向き、提示位置および背景の枠組などであり、生理的要因とは観察者側の行動特性の影響を指し、眼球運動や単眼視・両眼視、提示時間 (網膜

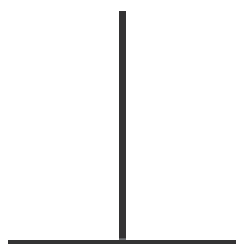


Figure 1 垂直-水平錯視 (VHI)の基本図形 VHI とは、物理的に同じ長さの垂直線分と水平線分を観察した際に、水平線分に比べて垂直線分が長く見える現象のことである。

への提示時間の調整)、中心視・周辺視、視野、姿勢などの要因や練習効果などである。彼はこれらの知見について概説だけでなく、図形の向き (Künnapas, 1955a)、視野の影響 (Künnapas, 1955b) については実験を行った。その結果、垂直線分の過大視は垂直方向であり、分割錯視は方向に無関係であるとの Künnapas の結果を追認した。さらに、方向の変化 (重力方向、視覚的枠組み方向や観察者の身体方向)の実験では、錯視量が方向の影響を受けることを示した。また、年齢的発達 (Winch, 1907; Würsten, 1947; Fraise & Vautrey, 1956; 生澤, 1958)や練習効果 (Valentine, 1912b)については錯視の現れ方に相異があるので、再検の必要性を訴えた。今井 (1960)も、大野 (1959)の分類に従って 1950 年以降の知見 (15 件)を提示時間、図形の向き、凝視、背景の枠組、部屋の明るさごとに紹介した。平井 (1972)も発達の側面から、1905 年から 1968 年の知見 (7 件)をまとめ、VHI の錯視量の最大値が年少期にピークを迎えるという報告 (Winch, 1907; Walters, 1942; Würsten, 1947; Fraise & Vautrey, 1956)と成人期に迎えるという報告 (Hanley & Zerbolio, 1965; 村瀬, 1968)があることを紹介した。Robinson (1998)は、1800 年代 (1 件)から 1900 年代 (17 件)の知見を年代別に整理してその内容を紹介している。

一方、錯視量の測定方法を整理分析した研究 (大野, 1961)がある。大野 (1961)は実験の妥当性や再現性の観点から 6 種類の図形 (① ⊥・② ⊥・③ ⊥・④ ⊥・⑤ ⊥・⑥ ⊥)を用いて、4 つの測定方法 (一方の線分を標準刺激として他方の線分を比較刺激とする恒常法、図形外比較法、移調法、マグニチュード推定法)を評価し、移調法、次にマグニチュード推定法を推奨した。

以上のように VHI の現象に関する文献を整理分析した研究を紹介してきた。しかし、近年でも錯視の研究は活発に行われており、近年の研究を含め、これまでの研究で得られた VHI の現象を改めて整理分類し、普遍的な現象を見出すことができれば、錯視の発生と関連する要因が明確になり、発生要因を解明できる糸口となることが考えられる。

このことから、本研究では、まずは VHI 現象に及ぼす要因ごとに知見を整理および精査することとした。VHI の発生要因の分類は大野 (1959)がすでに示している発生要因の分類を参考に、ここでは大きく VHI の提示方法の影響

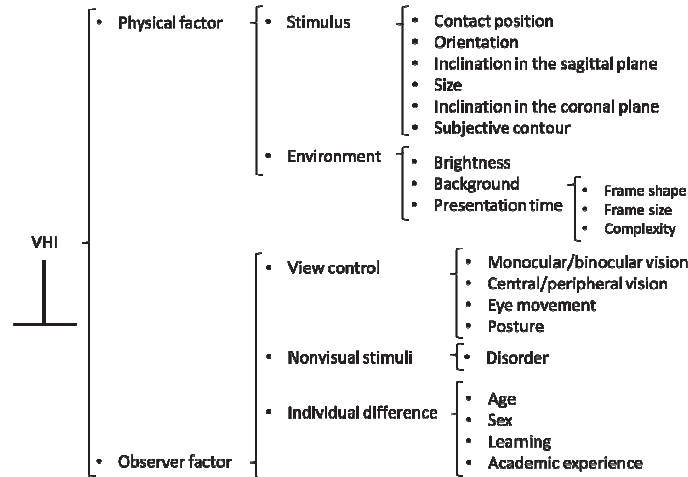


Figure 2 VHIに影響を与える要因 本研究では、先行研究を物理的要因と観察者要因の2つの要因に分類した (cf. 大野, 1959)。物理的要因の研究とは、刺激図形、提示環境など、与える刺激の変化や刺激の与え方の操作によって錯視現象を捉えた研究である。具体的には、垂直線分と水平線分の接点や錯視図形そのものの向きを変えたりする実験系である。一方、観察者要因の研究とは、刺激を提示された観察者側に錯視の要因を求める研究で、この要因についてはさらに3つに分類した。1つ目は観察者自身の見方、すなわち“単眼視と両眼視”、“中心視と周辺視”、“姿勢”などの影響について調べた実験系を取り上げた。2つ目は視覚以外の感覚系として“障がい”を取り上げた。3つ目は個人差であり、“年齢”、“性差”、“学習”、“学術経験”を取り上げた。

による要因 (以下、物理的要因)と観察者自身が由来で起こる要因 (以下、観察者要因)とに分類する。さらに物理的要因は、刺激そのものの要因と刺激を取り囲む環境の要因の2種類に分類し、観察者要因は観察者の見方、視覚以外の感覚系と個人差の3種類に分類した (Figure 2)。次に各要因について先行研究を比較し、普遍性の高い知見を見出すとともに、さらなる検証が必要な知見について考察した。なお図形の取り扱いについては、Figure 1に示す逆T字型 (⊥)を基本図形とし、└をL字型、┘を逆L字型とした。また垂直線と水平線の接点が離れている場合を離脱型とし、例えばL字 (離脱型)のように表記した。また錯視の取り扱いについては、以下のように定義した。水平線分 (100%)に対する垂直線分の錯視量が100%であれば、錯視は生じておらず、錯視量が100%より小さい場合は過大視 (水平線より短く知覚されている)、錯視量が100%より大きい場合は過小視 (水平線より長く知覚されている)とした。

次に、図形の回転を伴う場合は、垂直と水平の位置関係が入れ替わることになる。例えば、刺激図形を90°の回転では水平線が垂直位になり、垂直線が水平位になる。この混乱を避けるために、基本図形 (Figure 1)の水平線を底線 (baseline)と呼び、垂直線を帆線 (mast line)と呼ぶことにした。これに従えば、底線に対して帆線が上側のもの (⊥)を上向き条件 (回転無)、帆線が下側のもの (└)を下向き条件 (回転180°)、帆線が右側のもの (┘)を右向き条件 (回転90°)、帆線が左側のもの (┌)を左向き条件 (回転270°)となる。なお、L字型 (└)や逆L字型 (┘)でも同様の取り扱いをすることにした。

物理的要因

刺激図形

接点位置の影響 基本図形 (逆T字型)における水平線分 (底線)に対する垂直線分 (帆線)の接点位置の違いが錯視に及ぼす影響について概観する。

中点で接する時の錯視に関する多くの研究は、垂直線分の過大視錯視 (垂直線分が水平線分を分割する影響と垂直と水平の異方性の影響)を支持した。その上、実験方法は、接触図形上で図形の一方を標準刺激で他方を比較刺激として錯視量を測定する、恒常法で行っていた。その時の錯視量は、75.0 ~ 97.2%の範囲で報告されている (Finger & Spelt, 1947; Künnapas, 1955a; 大野, 1959; Suto, 1960; Cormack & Cormack, 1974; Carven, 1993; Wolfe, Maloney, & Tam, 2005; Hamburger & Hansen, 2010; Marma, Bulatov, & Bulatova, 2015)。しかし、結果が異なる研究として Mikellidou & Thompson (2013)は、底線よりも帆線を長く知覚 (過小視)したと報告し、Vishton et al. (1999)は、VHIがほとんど起こらなかったと報告している。しかし、前者は四種類の図形 (水平T字 (┌)とL字、逆T字 (⊥)、十字 (+))を標準刺激として、その図形の上側または横側に垂直線分あるいは水平線分のどちらかを比較調整刺激として配置する、いわゆる図形外比較法 (大野, 1961)により異方性、隣接と交差についての実験した結果であり、後者は基本図形 (逆T字)を観察者の前面約50 cmのテーブル上で提示 (サイズと奥行が存在し)、やはり従来とは異なる実験方法、たとえば垂直線分と水平線分それぞれの線長の異なる刺激線分で、基本図形の垂直線分と水平線分の長さを推定させる実験である。いずれも、

VHI とは異なる結果を示しているが、これら 2 つの研究は VHI が起こる従来の実験方法とは異なる点に注意して評価する必要がある。

結論から述べると、この 2 つの研究を除いた他の多数の研究は前並行平面で線分同士を比較する測定方法においては底線よりも帆線を短く知覚（過大視）し、中点においては平均で 90.2% 程度の錯視が起こることが指摘されている。

一方、端点で接する図形の錯視は異方性の影響のみと考えられるので、中点で接する場合の錯視量より小さくなることが予想される。報告されている左右端点の研究結果の錯視量は、L 字型（左端点）では平均が 97.2% で 85.0 ~ 115.0% の範囲で (Ritter, 1917; Künnapas, 1955a, 1957b; Suto, 1960; Morinaga, Noguchi, & Ohishi, 1962; Avery & Day, 1969; Cormack & Cormack, 1974; Schiffman & Thompson, 1975; Wolfe et al., 2005; Marma et al., 2015; Mikellidou & Thompson, 2013), 逆 L 字型（右端点）では平均が 97.0% で 93.8 ~ 103.4% の範囲で (Ritter, 1917; Künnapas, 1955a, 1957b; Suto, 1960; Schiffman & Thompson, 1975; Marma et al., 2015) 中点で接する場合より減弱し、予想を裏付けている。

さらに Künnapas (1955a) は端点と中点の間にも接点を置いて錯視量を測定した。その結果、中点の過大視が最大で端点へ近づくほど減弱する V 字型 (Figure 3-A) に錯視量が増加すると主張した。Wolfe et al. (2005) はパソコン環境で同様の実験を行い、Figure 3-B のように Künnapas (1955a) よりフラットなイチョウ型の変化曲線を報告した。一方、Marma et al. (2015) のパソコン環境を用いた実験では、中点と端点の間では錯視量が小さくなり、M 字型 (Figure 3-C) を呈すると主張し、小原・川合 (2020a) は同様の実験により M 字型になることを追認した。なお、Suto (1960) の実験では、右半分は V 字型、左半分は M 字型の非対称性を報告している。

以上についてまとめると、中点では 90% 程度の錯視が起こり、端点では 97% 程度の錯視にとどまることが一般的な特性であると考えられる。しかしながら、中点と端点の間で

生じる錯視量の変化の形状については、接点位置を横軸とすると V 字型 (Künnapas, 1955a) か、イチョウ型 (Wolfe et al., 2005) か、あるいは M 字型 (Marma et al., 2015) のいずれが一般的なのか、現時点で結論することはできなかった。注意すべき点は、Künnapas (1955a) 以外の研究者はパソコンを活用しているので、提示精度やパソコン画面枠などとの関係性を今後検討することが必要である。

また VHI の発生機序を考える上で考慮すべきことは、眼と脳での画像情報処理に着目することである。すなわち人間の眼は目の前の図形を見てから脳で認識する間に、水晶体を通して網膜上に映し出され、その後電気信号に変換され視神経を通り、脳に送られる。このように図形を認識する情報処理過程のどこかで VHI が発生しているかに着目することが大切になるのである。この情報処理について、人間の眼は外界情報を網膜上から得るに辺り、三次元から二次元に情報量を落としており、脳はその二次元情報から三次元情報を得る際に三次元情報を推測するための処理 (三→二→三次元問題 (石井, 2006)) を行っていると指摘する研究がある。また、これに関連した研究として Howe & Purves (2002) は広角レーザー (水平 333° : 垂直 80°) を用いて外界の自然風景である三次元空間座標を網膜上のように二次元の極座標に変換し、外界と網膜上の各座標の長さを比較できるようにした。その結果、網膜上には同じ長さで投影される線分であっても、角度により見えの長さが増加することを示した。このことが直ちに中点と端点の間で生じる錯視量の変化の形状が M 字型と結論するのは早計であるが、これら画像の情報処理が VHI の発生に関連している可能性を示唆している。

刺激図形の向きの影響 最初に、基本図形 (L) を前顔面と平行に下向き (⌊), 右向き (└), あるいは左向き (┌) に回転させ向きを変えたときの錯視への影響についてまとめた。上向きと下向き条件では、帆線が底線を分割し、しかも、帆線である垂直線分を過大視する異方性が重なりあって過大視の錯視量が大きくなり、右向きと左向き条件では、帆線が底線を分割することによる水平線である帆線の過大視と、異方性による垂直方向である底線の過大視が相反する錯

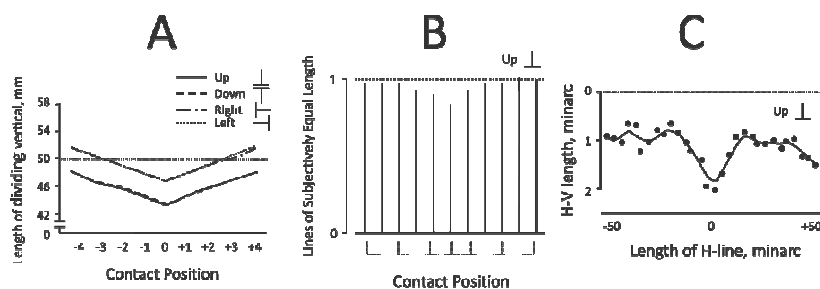


Figure 3 接点位置の実験結果 各研究者 (A: Künnapas (1955a), B: Wolfe et al. (2005), C: Marma et al. (2015)) による接点位置における VHI の変化プロフィールである。小原・川合 (2020a) から抜粋した。図については日本基礎心理学会より使用許可を得ている。

視として起こり、錯視量が減弱すると考えられる。実際の研究結果でも、基本図形 (L) の錯視量は 90.2% 程度 (接点位置の影響の項参照) と比較して、下向き条件では同様に錯視量の平均が 85.2% で 83.4 ~ 87.1% (Künnapas, 1955a; 大野, 1959) の強い錯視がみられた。また、左右に関しては、右向き条件では錯視量の平均が 96.1% で 93.8 ~ 99.6% の範囲 (Finger & Spelt, 1947; Künnapas, 1955a; 大野, 1959; Hamburger & Hansen, 2010)、左向き条件では錯視量の平均が 96.8% で 93.9 ~ 99.6% の範囲 (Künnapas, 1955a; Marma et al., 2015) となり、錯視が顕著に減弱することが示されている。

次に、L字型及び逆L字型での錯視への影響についてまとめた。上向きと下向き条件では、帆線である垂直線分が異方性により過大視となり、右向きと左向き条件では、底線となる過大視された垂直線分と同一の長さになるように帆線となる水平線の長さを調整されるために、過小視となる錯視が起こると思われる。このことは報告されている研究結果が示している。すなわち、L字型の錯視量については、上向きの平均 97.2% (接点位置の影響の項参照)、下向き条件の平均が 97.6% で 96.5 ~ 103.8% の範囲 (Ritter, 1917; Künnapas, 1955a; Begelman & Steinfeld, 1967; Avery & Day, 1969)、右向き条件の平均が 105.4% で 103.7 ~ 107.6% の範囲 (Ritter, 1917; Finger & Spelt, 1947; Morinaga et al., 1962; Avery & Day, 1969)、左向き条件の平均が 105.5% で 105.2 ~ 105.7% の範囲 (Ritter, 1917; Künnapas, 1955a) であった。そして逆L字型の上向きの平均 97.0% (接点位置の影響の項参照)、下向き条件の平均が 97.5% で 92.5 ~ 102.5% の範囲 (Ritter, 1917; Schiffman & Thompson, 1975)、右向き条件の平均が 104.0% で 98.1 ~ 109.8% の範囲 (Ritter, 1917; Avery, 1970)、左向き条件の平均が 99.4% で 94.3 ~ 104.5% の範囲 (Ritter, 1917; Begelman & Steinfeld, 1967) であった。ここから、L字および逆L字図形とも上下方向は過大視錯視が大きく左右方向は過大視錯視が減弱し、むしろ過小視となっていることがわかる。

また Mamassian & de Montalembert (2010) は向きを上下群と左右群に分け比較し、前者の錯視量が後者のそれよりも 6.0% 増加することを報告した。矢内・尾崎 (2016) は、フリーハンドで描かれた図の結果でも Mamassian & de Montalembert (2010) が示した縦横比率になるのかどうかを検討し成り立つことを示した。

なお、この特性は中点と端点との間の錯視量を調べた研究においても共通しており、接点への影響は一定のまま、上向きおよび下向きに比較して、右向き左向きの錯視量が一貫して減弱した (Künnapas, 1955a; Marma et al., 2015)。

以上から、水平位にある底線を基準として帆線を比較したとき、垂直位にある底線を基準として帆線を比較したと

きとでは、錯視量の現れ方は異なり、前者の方が顕著に大きくなると言える。

刺激図形の方向性について、近年、脳神経科学からの知見も発表されている。Yacoub, Harel, & Ugurbil (2017) は (7-T) 高磁場 fMRI を用いて、水平線 (0°) や垂直線 (90°)、そして斜線 ($45^\circ \cdot 135^\circ$) を提示し、人間の空間認知のときの脳内の様子を検討した。その結果、一次視覚野などの視覚皮質において垂直線 (90°) を提示すると最も脳内の活動量が多くなることを示した。今後は VHI の解明に関して、脳神経科学からの研究アプローチも必要と思われる。

矢状方向の角度変化の影響 これまで取り上げてきた研究では、刺激図形は観察者の視軸に垂直 (90°) となるように提示され、真横から観察された際の錯視を取り上げてきた。ここでは、視軸に対して 90° に提示された刺激図形を 0° とした場合、そこから矢状方向に手前側 (+方向) に傾けたり、奥側 (-方向) に傾けたりした際の影響について研究をまとめた。

von Collani (1985b) は、逆L字型の図形を手前側から 57.3° 、 37.4° 、 0° に傾け、錯視量を検討した。その結果、 57.3° では過小視 (錯視量 $> 100\%$) が、 37.4° と 0° では反対に過大視 (錯視量 $< 100\%$) が起こり、 0° のときに錯視量は 93.4% で過大視が最大となる。このため、垂直軸を錯視量 (基準 = 100%) として、水平軸を角度で +方向を左、-方向を右にした時の錯視量変化は右下がりのプロフィールとなった。また、安岡・石井 (2014) は逆T字型とT字型の図形を 45° から -45° まで傾けて錯視量を検討した。その結果、その範囲では過大視がみられ、 45° 、 0° 、 -45° の条件において逆T字型の図形ではそれぞれ 92.8%、95.4%、96.2% となり、T字型の図形ではそれぞれ 94.3%、92.8%、92.4% の錯視量が得られた。さらにそれぞれの間では過大視が強くなり、特に、逆T字型は -30° (92.0%) の時の方が、T字型は 15° (90.8%) の時の方がより過大視が強くなり、これらの結果を図形化すると、ともに W 型のプロフィールになることを報告した。さらに、小原・川合 (2021) も暗室において底線と帆線の接点位置を L字型から逆T字型を経て逆L字型へ 5 等分に変化させた 5 種類の図形を表示させたパソコン画面を $+60^\circ$ から -75° まで 15° おきに傾けた時の錯視量を測定した。その結果、錯視量変化は von Collani (1985b) と同様に右下がりのプロフィールとなり、角度が +側すなわち仰観した時に過小視で一側すなわち俯観した時は過大視となる傾向を示した。

以上をまとめると、錯視量変化プロフィールは右下がりプロフィール (von Collani, 1985; 小原・川合, 2021) と W 型プロフィール (安岡・石井, 2014) があり、図形により対立している。これは分割説 (Oppel, 1855; Künnapas, 1955a;

Girgus & Coren, 1975; Wolfe et al., 2005; Charras & Lupiáñez, 2009, 2010; Hamburger & Hunsen, 2010; Mammassian & de Montalembert, 2010)が指摘するように逆 T 字型図形と L 字型および逆 L 字型図形で人間自体の反応が異なるためなのか、他に別の原因があるのかをこの3つの研究結果のみから判断することは難しい。しかし、小原・川合 (2021)の結果が仰観では過小視で俯観した時は過大視となる傾向を示したことから、矢状方向の影響は観察者の俯仰角の視知覚機構解明の手がかりになると考えられるので、今後さらなる研究が求められる。

図形の大きさ (長さ)の影響 ここでは観察者の前に提示する刺激図形の大きさを変化させたときの影響について紹介する。大きさ (長さ)に関する研究では、同一尺度 (例えば、同一提示距離による換算など)での比較がより正確に判断できる。しかしながら、研究によっては明確な提示距離の記載がないものもあるため、各々の研究の値をそのまま採用した。

Valentine (1912a)は、L 字型の底線を 40 mm, 60 mm, 100 mm と変化させたときに生じる帆線の錯視量を検討した。その結果、錯視量はそれぞれ 95.8%, 93.6%, 95.0% で過大視となり、しかもほとんど差異が認められなかった。Begelman & Steinfeld (1967)は、L 字型 (下向き)および逆 L 字型 (左向き)の底線を 50 mm, 100 mm, 200 mm と変化させたときに生じる帆線の錯視量を検討した。その結果、前者の条件での錯視量は、それぞれ 88.9%, 95.7%, 98.2% であり、また後者の条件では、それぞれ 90.0%, 92.9%, 94.7% で、いずれの条件においても、過大視となり大きさに有意な影響が認められた。

以上の結果、大きさ (長さ)の影響については、いずれも過大視であることは共通している。しかし、錯視量の結果については文献も少なく意見が対立しているだけでなく、前者の研究 (Valentine, 1912a)では見えの大きさに決定的な影響を与える刺激と観察者との距離について言及されておらず、比較検討することも困難であり追試が必要である (Перельман, 1959; 上野, 1968; 大山, 2008)。

底線上の帆線角度の影響 ここでは、底線上の帆線が前額面上に 90° から左右に傾斜したときに生じる錯視について検討した研究をまとめる。なお、研究そのものは、提示図形内に斜線が含まれることから観察者の中に無意識で奥行知覚が発生すると考えられるので、水平線と垂直線が誘発する錯視から逸脱し、むしろ、ミュラーリアー、ヘリング、ツェルナーのように斜線で誘発する錯視とみなすことができる。しかしながら、長年提唱されてきた様々な錯視における奥行説 (cf. Gregory, 1963)について近年 VHI においても遠近 (Perspective)理論 (線遠近法; Wolfe et al., 2005)のように奥行 (遠近)との関係から VHI の解明が盛んに議論

されているので、ここに紹介する。左右の角度については、帆線が底線に対して垂直位を 0° とし、左側への傾斜を「負」、右側への傾斜を「正」で示した。

まず逆 T 字型図形を用いた研究では、Suto (1960)と Wolfe et al. (2005)は、 0° を底として左右に角度が変化するに伴い、過大視は相対的に小さくなる碗型のプロフィールを示した。しかしながら、Cormack & Cormack (1974)は -30° および 30° のときに過大視が大きく、左右に角度が変化するに伴い、過大視は相対的に小さくなる W 型のプロフィールを示した。

一方、L 字型図形を用いた研究 (Morinaga et al., 1962; Cormack & Cormack, 1974; Wolfe et al., 2005)では、いずれの研究においても負の角度が大きいかほど底線よりも帆線が短く知覚され、正の角度が大きいかほど短く知覚されにくくなることが示された。なお、研究は少ないが、十字型図形を用いた研究 (Suto, 1960; Cormack & Cormack, 1974)と逆 T 字型 (右向き, 左向き) (Cormack & Cormack, 1974)を用いて角度の影響を調べたものは、W 型と同じようなプロフィールとなった。離脱型条件 (Shipley, Nann, & Penfield, 1949; Pollock & Chapanis, 1952; Carven, 1993; Zhu & Ma, 2017)を用いて角度の影響を調べたものは、Shipley et al. (1949)は逆 T 字型図形の碗型と同じようなプロフィールが表れ、それ以外の研究は W 型プロフィールと準ずる結果となった。逆 L 字型図形を用いた研究 (Cormack & Cormack, 1974)は L 字型図形と準ずる結果となった。

以上のように底線上の帆線角度の影響については、少なくとも角度の有無が錯視量に影響を与えているとはいえるが、その変化は W 型 (Chapanis, 1952; Cormack & Cormack, 1974; Pollock & Carven, 1993; Zhu & Ma, 2017)、碗型 (Suto, 1960; Wolfe et al. 2015)など様々であり、また底線と帆線の位置関係によっても影響の現れ方は異なっていた。これについて、Mammassian & de Montalembert (2010)は底線と帆線の分割位置とそれぞれの線分の向きによって錯視量に変化が表れることに言及し、それをモデルとして提唱した (late-noise model)。このことから、斜線の影響については分割説の影響が大きいと考えられるが、近年提唱されている奥行説との関係もあるため、今後の検討が必要であろう。

主観的輪郭の影響 刺激図形の底線に主観的輪郭を用いた際の VHI の錯視の現れ方を検討したものがある。Meyer (1986)は、主観的輪郭線によって基本図形の底線を浮かび上がらせ、実際の線分での錯視の現れ方と比較した。その結果、実線と輪郭による差は見られなかったことを報告した。主観的輪郭線の影響は、この研究だけでは論じることが困難であり、帆線を主観的輪郭線にした場合や輪郭線の太さの影響など幅広い研究が必要である。

提示環境

明るさの影響 ここでは、刺激図形を提示する環境のうち、実験室の明るさの影響を扱った文献をまとめた。明るさの単位は光度 (cd)、光束 (lm)、輝度 (cd/m²)、照度 (lx) など研究ごとに異なるため照度値に換算した。

最初に明るさに注目したのは Ritter (1917) である。彼は外の光を遮断して照明の数 (8 個 vs. 7 個) を変化させ、刺激図形 (L 字型および逆 L 字型) の錯視量を測定した。その結果、差異がないことを報告した。次に Künnapas (1957b) は、150W の照明で暗所視 (0 ~ 0.01 lx) と明所視 (286 lx) の環境を作り、L 字型図形の錯視量を測定した。その結果、明所視 (92.9%) の方が暗所視 (95.2%) に比べて底線よりも帆線を有意に過大視することを示した。一方、Avery & Day (1969) は、暗所視 (0 ~ 0.01 lx) と薄暗がり (27.3 lx)、明所視 (300 lx) の 3 条件で、L 字型図形の錯視量を測定した。その結果、それぞれ 94.1%、95.6%、97.4% となり差がないことを報告し、暗所視から明所視なるほど過大視が减弱し、Künnapas (1957b) の結果とは対立した。Prinzmetal & Gettleman (1993) は、フィルター付の眼鏡を用いて L 字型図形で暗所視 (0.79 lx) と明所視 (147.34 lx) の 2 条件で錯視量を測定し、暗所視 (98.3%)、明所視 (96.9%) であることを示し、Künnapas (1957b) の結果と同一の傾向を示した。江草・御領 (1998) は、薄明視を 13 段階 (3.77 ~ 7.53 lx) に分け、基本図形 (逆 T 字型) の錯視量を測定したが有意な差異は認められなかったと報告した。また、小原・川合 (2020b) は暗所視 (1.0 lx 未満) と薄暗がり (10 lx)、明所視 (20, 40, 80, 160, 320 lx) の 7 条件で底線と帆線の接点位置を L 字型から逆 T 字型を経て逆 L 字型へ 5 等分に変化させた 5 種類の図形で錯視量を測定した。その結果、暗所視の過大視が薄明りや明所視よりも減弱し、Künnapas (1957b) の結果と同一の傾向を示した。

なお、背景と刺激図形の明るさの対比による影響を検討した研究がある。Hamburger & Hansen (2010) は、全体の輝度は一定 (換算した照度値: 325 lx 程度) にして背景と刺激図形 (逆 T 字型: 上向き・右向き) の明るさを変え、2 種類の明度条件 (図形の方が背景よりも明るい条件、背景の方が図形よりも明るい条件) での錯視量を比較した。その結果、明るさの対比による錯視への影響は認められなかったと報告した。

これらの結果から実験室の明るさの影響については、錯視量が明所視の方が暗所視よりも大きい場合 (Künnapas, 1957b; Prinzmetal & Gettleman, 1993; 小原・川合, 2020b)、暗所視の方が明所視よりも大きい場合 (Avery & Day, 1969)、そして暗所視と明所視が同じ場合 (Ritter, 1917) となった。よって、明所視のほうが暗所視より過大視が強い傾向を支持する研究が多い。

この環境の明るさについて、人間の虹彩に直接影響すると指摘する研究もある。Hartline (1940) によると、暗所での

観察について順応時間を長くした方がそうでない方よりも光への感度が上がると報告している。

このように明るさの影響については、実験室の明るさだけでなく、虹彩や背景と刺激図形そのものの明るさが錯視に与える影響なども 研究する余地が残っているといえる。

背景の影響 錯視図形を取り囲む背景の影響について概観する。背景とは、図形の後方に広がる「地」全てを含み、枠 (Frame) や図形が描かれたパネル、さらには実験室や野外の風景など観察者の視認できる背景をも含んでいる。

枠の形状の影響について、Künnapas (1957a) は L 字型の背景に、矩形形状や楕円形状、正方形形状、円形状を用いて錯視量を比較した。その結果、矩形形状や楕円形状を横長に配置した方 (94.1%) が、縦長に配置した方 (97.6%) や正方形形状や円形状 (95.8%) を配置した場合に比べて、底線よりも帆線が有意に過大視されることを報告した。Houck, Mefferd, & Greenstein (1972) は、Künnapas (1957a) と同じ図形を用いて、その縦横比を変えて L 字型にみられる錯視量を比較した。その結果、形状の縦横比は錯視量に影響しなかったことを報告した。Prinzmetal & Gettleman (1993) は、L 字 (離脱型) を用いて、縦長矩形形状と横長矩形形状を背景に用いたときの錯視量を測定した。その結果、縦長矩形 (96.1%) は横長矩形 (98.5%) よりも有意に過大視されることを報告した。さらに、眼鏡などを用いて観察者自身の視野の形や大きさを変えて、その錯視量を測定した研究も見られる。Künnapas (1959) は眼鏡を用いて観察者の視野を制限して、L 字型の錯視量を測定した。その結果、視野を横長に制限した場合 (94.7%) が、縦長に制限した場合 (97.8%) よりも有意に過大視が大きく、背景枠の結果と一致した (Künnapas, 1957a)。

以上は基準線分が水平線分で調整線分が垂直線分とした L 字型を刺激図形としているが、基準線分を垂直線分、調整線分を水平線分とした逆 T 字型 (右向き) と L 字型 (右向き) の刺激図形の研究 (大野, 1959) がある。枠組みは、円形と縦長矩形、横長矩形に背景を変化させて錯視量を比較した。L 字型 (右向き) では、どの背景条件においても錯視量が 100% より大きく、枠組みによる過小視の錯視量には有意差が認められず、横長矩形 (108.6%) が縦長矩形 (104.7%) より過小視が大きくなる傾向があったと報告した。この結果から、他の研究結果と比較するため、水平線分に対する垂直線分を比に換算すると、横長矩形 (92.1%) が縦長矩形 (95.5%) となり垂直線分の過大視となっていることがわかる。

さらに大野 (1959) は、逆 T 字型 (右向き) でも同様の実験を行い、他の背景に比べ横長矩形 (96.1%) の錯視量が有意に小さくなり、円形 (90.3%) と縦長矩形 (90.2%) 間では有意な差がないことを示した。しかし、この結果は上記の

提示図形とは異なる逆 T 字型 (右向き)であるため、分割と異方性錯視の両方の影響を受けると思われるので参考程度にとどめておく。

以上から、枠形状の影響については、過大視で横長矩形の錯視量が大きい場合 (Künnapas, 1957a, 1959; 大野, 1959)と過大視で縦長矩形の錯視量が大きい場合 (Prinzmetal & Gettleman, 1993), そして変化がない場合 (Houck et al., 1972)に分かれる。

枠の大きさの影響については、Künnapas (1955b)は、一本の帆線 (長さ一定)が描かれた正方形の大きさを変化させて、見えの長さを比較した。その結果、背景の正方形が大きくなるほど、線分がより短く知覚されることを報告した。

背景の複雑さの影響には、枠内に複雑な背景を用いてその影響を検討したものと野外の背景や建物など複合的な影響を検討したものがある。

前者について、Mankin (1969)は、背景に宇宙空間のような複数個のドットの影響を調べるために、基本図形 (逆 T 字型)を用いて帆線を基準として底線の錯視量を求めさせた。その結果、ドットの影響について、過大視であるが錯視量に有意な差がないことを示唆した (ドット無:96.0%, ドット数 50 個:96.3%, ドット数 700 個:97.9%, ドット数 1400 個:97.3%)。

後者については、von Collani (1985a)は、日常みられる奥行きがかりの影響を調べるため、逆 L 字型を提示する際に背景を実際の道路や塀などにして錯視量を測定した。結果、これらが無い場合 (92.7%)に比べて、ある場合 (87.2%)の方が過大視が有意に大きくなった。Chapanis & Mankin (1967)は、野外の風景を背景として、そこに映る建物、電柱、木材に打ち込まれた釘などの垂直方向の長さを視認させ、その錯視量を水平方向に記録させた。その結果、単純な図形でなく視覚的に豊かな環境下における対象物であっても、ばらつきはあるが垂直方向の対象物の実際の長さとは水平方向に記録した長さとの間に差が現れることを示した。また、Higashiyama (1992)は、野外における建物の窓枠を使い、測定方法について分度器を使い視角を生み出す角度生成法と視距離を調整することで視角を生み出す距離生成法、そして言葉で伝える口頭推定法と比較を行った。その結果、角度生成法や口頭推定法で得られた結果を計算により予測することができること、月の錯視などにも応用可能であることを示した。さらに、Li & Durgin (2017)は 3D 動画を用いて空と草原を背景に、かつ前後に移動する人間が小さくなったり、大きくなったりする中で L 字型や L 字 (離脱)型の錯視量を測定した。その結果、人間が小さく (遠く)なった背景のとき過大視が大きくなることを報告した。

以上から、野外のような複雑な背景においても、VHI が一貫して生じることは確かなようであるが、奥行きがかりの操作について、ドットの個数だけでよいのかについても疑

問が残る (cf. Mankin, 1969)。今後のさらなる研究が必要といえよう。

提示時間の影響 提示時間も錯視に影響する要因の 1 つである。Faisse & Vautrey (1956)は、基本図形 (逆 T 字型)と L 字 (離脱)型を用いて、提示時間を 0.2 s, 1.0 s, 無制限という 3 条件にして錯視量を検討した。その結果、基本図形において、それぞれ 71.0%, 72.9%, 81.2%であった。また L 字 (離脱)型においては、85.7%, 87.1%, 88.3%であり、両刺激条件ともに、提示時間が短い方が過大視が大きくなることを示しているが、有意差の検討はされていない。Piaget, Bang, & Matalon (1958)は、基本図形と L 字型を用いて、提示時間を 0.04 s, 0.1 s, 0.2 s, 0.5 s (L 字型のみ測定), 1.0 s および無制限という条件で錯視量を検討した。その結果、基本図形 (逆 T 字型)において、それぞれ 71.0%, 63.3%, 64.5%, 67.8%, 72.7%であり、同時に L 字型では、それぞれ 94.7%, 94.7%, 94.6%, 94.4%, 95.2%, 95.6%であることを報告したが、各数字に関して有意差の検討はされていない。しかし、錯視量を比較すると両図形とも過大視がすべての提示時間で起こっており、しかも提示時間に関係なく基本図形 (分割錯視と異方性錯視)の方が L 字図形 (異方性錯視)より過大視が大きくなることを示している。

まとめると、錯視量への提示時間の影響については、時間提示が長い方が短いそれよりも錯視量が大きかった (Faisse & Vautrey, 1956; Piaget et al., 1958)。よって、提示時間が短いほうが過大視が大きく、あまりにも提示時間が短い場合 (0.04 s)は逆に過大視が減弱するという報告がなされている (Piaget et al., 1958)。

提示時間と錯視の関係において、対象物を観察する際にサッケードが影響する (三浦・坂戸・河野・小川, 2011)、あるいはサッケードが錯視に影響している可能性を指摘している (Wundt, 1898; Titchener, 1901)。特に Wundt は 1858 年にサッケードが錯視の原因であると主張していた (Boring, 1942)。また、金子 (2010)が人間のサッケードは 0.02 s から 0.08 s 程度で眼球が高速に動くことを報告している。これらの知見から、提示時間が短い場合に影響する眼球の動きについて、Piaget et al. (1958)の研究の提示時間が 0.04 s の条件のみの結果が異なっているのは、人間のサッケードの影響が考えられる。

観察者要因

観察者の見方

単眼視・両眼視の影響 Valentine (1912a)は、単眼視および両眼視における L 字型と逆 L 字型での錯視量を調べ、両眼視に比べ右単眼視の錯視量が大きく、反対に左単眼視のそれが小さくなると報告した。Künnapas (1957c)も同様の図形で実験を行い、L 字型の錯視量は左眼 95.3%・右

眼 96.9%で、逆 L 字型のそれは左眼 97.1%・右眼 94.8%となり、図形によって左右差に有意な差異があることを示した。また、同時に左右単眼と両眼視との錯視量を測定して左単眼:96.2%・右単眼:95.8%・両眼:96.0%となり、差がないことを示した。Vette (1964)は、基本図形を 30 名の観察者に暗闇で右単眼と左単眼で観察させた。その結果、右単眼の錯視量の方が左単眼の錯視量よりも有意に大きくなることを示した (右単眼:85.75%; 左単眼:93.56%)。

以上をまとめると単眼視の左右差や両眼視での錯視量の影響については、Valentine (1912a)は右単眼視が最も大きく、次に両眼視であり、左単眼視が最も小さくなったと報告した。これは結果的に左右差があることを報告している。Künnapas (1957c)は提示図形によって左右差があることを示したが、両眼視との比較においては差がないことを報告し、Vette (1964)は右単眼視の方が左単眼視より錯視量が大いという結果を示している。しかし、これらの研究は左右差を検討する際に考慮しなければならない利き目・非利き目の調査がなされていない。この点で参考になるのがPrinzmetal & Gettleman (1993)の研究である。彼らは利き目・非利き目の観点から単眼視と両眼視を提示図形が L 字 (離脱)型を使用して調べた。その結果、利き目での錯視量 (98.6%)が両眼視のそれ (97.5%)よりも有意に小さく、一方、非利き目での錯視量 (97.6%)と両眼視のそれ (96.4%)との比較でも同様の結果を示した。しかし残念ながら利き目と非利き目の差異には触れられていない。

このことから左右差に関しては利き目と非利き目の差異を考慮する必要がある。また、単眼視と両眼視の比較については、Julesz (1971)は VHI 図形について単眼視レベルで処理されており、輻輳や立体視などの影響は受けなかった。このことから、検討事項は残ってはいるものの Künnapas (1957c)の考えが有力なのではないだろうか (cf., 小原・川合, 2020a)。

中心視と周辺視の影響 錯視図形が観察者の網膜上などの位置に結像するかによって錯視量は変化するかどうか、中心視と周辺視からのアプローチについて概観する。

Pearce & Matin (1969)は、観察者の注視点を固定させて、視野の上下左右方向に配置した L 字型の錯視量を測定した。その結果、中心視野での錯視がもっとも強く、上下方向に配置するほど錯視は減弱した。しかし左右方向では個人差が大きく、上下方向ほど顕著ではなかった。これに類するものとして Piaget et al. (1958)は、基本図形と L 字型を用いて、注視点を帆線上または底線上に固定して錯視量を比較した。その結果、基本図形については底線側に注視点を置いた場合の方が錯視が強くなることを示し、L 字型については帆線側に注視点を置いた場合の方が錯視が強くなることを示した (基本図形:帆線 73.9%; 底線 71.5%; L 字型:帆線 94.4%; 底線 96.8%)が、記述統計以外の分析

は行っていない。

一方、Thompson & Schiffman (1974)は、逆 L 字型を固定された注視点に対して左右方向に移動させた。その結果、錯視量が中心視野よりも周辺視野の方が増加し、Pearce & Matin (1969)とは対立する結果を報告した。また Künnapas (1957c)は、周辺視で観察させたかは言及していないが、鼻側とこめかみ側の錯視量を比較して、鼻側 (左眼:逆 L 字型; 右眼:L 字型; 97.0%)とこめかみ側 (左眼:L 字型; 右眼:逆 L 字型; 95.0%)で有意な差があることを報告した。

このように中心視と周辺視の影響について、上下方向の錯視量は中心視よりも周辺視の方が大きくなった (Piaget et al., 1958; Pearce & Matin, 1969 (基本図形))。左右方向の錯視量は周辺視よりも中心視の方が大きい場合 (Pearce & Matin, 1969)と中心視よりも周辺視の方が大きい場合 (Piaget et al., 1958 (L 字型); Thompson & Schiffman, 1974)とで対立している。このことについては、中心視と周辺視の細胞機能の違いから考えると理解しやすい。池田 (1988)によると、中心の方が周辺よりも視神経の密度が高く、特に中心窩では専用回線があると述べている。また福田 (1978)も視機能は周辺部よりも中心部の方が複雑で高次なものになると述べている。これらのことから総合すると、VHI 図形を中心視ができる箇所に提示した方が、周辺視ができる箇所に提示するよりも明確に比較できるのではないかと考えられる。しかし視機能については、小田 (1999)によって中心窩と周辺視野で役割が違っても述べられているため、まだ結論を出すことは早計であろう。

眼球運動の影響 眼球運動が錯視を生起させているという研究がある。Künnapas (1958b)は L 字型を使い、注視点を交点に固定した条件と自由に動かしてよい条件を比較し、動かした方 (95.2%)が固定した方 (95.7%)よりも過大視が有意に強くなることを報告した。Chouinard, Peel, & Landry (2017)は視線追跡を用いて、凝視を安定させることで過大視が強くなることを報告した。

VHI 図形を観察する際に凝視するか否かによって錯視に影響があるのかについて、最新技術を用いた研究 (Chouinard et al., 2017)では凝視させた方が錯視量が大きくなるという結果がある。これは眼の中心の方が周辺のそれよりも視神経の密度が高いと述べている池田 (1988) の知見から考えると、提示図形を見る際に眼を動かすことができれば、より鮮明に提示図形を認識することができる。その上、眼の動きがあることで筋肉の動きの情報も脳に入力されるため、より精査された情報から長さを検討することができる。このことから、Chouinard et al. (2017)の知見の方が妥当なようにも考えられるが、研究数が少ないためここで結論付けることは早計であり、今後さらなる検討が期待される。

姿勢の影響 重力軸や網膜子午線 (田島, 1960; 東山, 2012)の観点から姿勢と錯視の現れ方や強さを検討した研究について概観する。なお、姿勢に関する表現は、重力方向と頭部上下軸が一致 (平行)する場合を正立位 (正立座位)、直交する場合を側臥位、逆方向の場合を倒立位を用いた。

Ritter (1917)は、逆 L 字型を用いて正立座位、側臥位 (角度の記載はなし)および倒立位の錯視量を検討し、姿勢は錯視量に影響を与えないことを示した。Künnapas (1958a)は、L 字型を用いて、頭部の傾きの影響について検討した。その結果、傾きが 0° (正立位)のときの方 (96.3%)が、 -85° (左側臥位)のとき (103.2%)よりも錯視が強くなった。Morinaga et al. (1962)も、L 字型を用いて頭部の傾きを -90° から 90° に変化させ検討したが、 90° (右側臥位)から過大視が大きくなり 30° のときに錯視はもっとも強くなった (94.0%)。以後過大視が小さくなっていき、 -90° (左側臥位)のときに過小視が起こった (101.0%)。

大野 (1959)は、右向き L 字型を用いて姿勢の影響を検討した。その結果、 0° (正立位; 107.0%)の方が 45° (101.4%)よりも過小視が有意に大きくなり、 90° (右側臥位; 107.7%)との間では差異がないことを報告した。Avery & Day (1969)も L 字型を用いて正立位と右側臥位による錯視量を検討した。その結果、正立座位の錯視量 (94.9%)の方が右側臥位の錯視量 (101.9%)よりも大きくなることを報告した。しかし、Avery (1970)は、追試でこれを否定している (正立座位: 98.1%; 右側臥位: 102.8%)。Prinzmetal & Gettleman (1993)は、L 字 (離脱)型を用いて、正立座位と側臥位 (方向不明)による錯視量を検討した。その結果、正立座位の方 (92.9%)が側臥位 (95.2%)よりも大きくなることを報告した。

Higashiyama (1996)や東山 (1997, 2012)は、姿勢条件を正立位と側臥位にして、その際、観察条件を自然観察、円筒を覗きながらの観察および視野反転プリズム (上下と左右)とし、各条件の組み合わせによって計 8 条件にして、野外にある窓枠の長さを観察させた。その結果、重力軸、視環境軸、そして網膜垂直子午線が一致している場合がもっとも錯視が大きくなる (最大錯視量 (正立位): 62.0%)ことを示した。

以上から姿勢の影響について、正立位の方が側臥位よりも錯視量が多い場合 (Künnapas, 1958a; Avery & Day, 1969; Prinzmetal & Gettleman, 1993; Higashiyama, 1996; 東山, 1997, 2012)、正立位と側臥位で錯視量に差がない場合 (大野, 1959; Avery, 1970)、側臥位の方が正立位よりも錯視量が多い場合 (Morinaga et al., 1962)となり、正立位の方が側臥位よりも錯視量が多いという支持が多い。これについては東山 (2012)でも述べられている通り、重力軸との関係性が影響している可能性が高い。し

かしながら、これまで無重力下で行われた研究がまだないことから、今後の研究が待たれるところである。同時に、観察する角度についても言及がなされていないため、この条件も考慮した研究を行う必要がある。

視覚以外の感覚系

障がいの影響 角膜の障がいとして乱視を調べたものがある。乱視の場合、角膜形状の縦横比が変化することが知られており (山本, 2016)、それが VHI でも生じるのかは興味深い。Valentine (1912b)や Ritter (1917)は乱視の影響 (L 字型)を調べ、低程度の乱視 ($\sim +1.5D$)では錯視量に影響はないと報告した。

de Montalembert & Mamassian (2010)は、基本図形を右視野と左視野、そして両視野に提示して半側空間無視の患者 (6 名)と右脳を損傷した患者 (4 名)、そして健常者 (12 名)の錯視量を比較した。その結果、どの条件の観察者でも錯視が起こることを確認した (健常者: 94.8%; 右脳損傷: 90.9%; 半側空間無視: 90.1%)。また同時に半側空間無視患者では、基本図形の右向きと左向きで錯視量に有意な差が生じることも報告した (右向き: 76.5%; 左向き: 88.9%)。

この項目ではいくつかの障がいの関連について述べた。様々な障がいがあるため一概には言えないが、障がい VHI に影響を与える可能性についてはあるといえるのではないだろうか。

個人差

年齢の影響 Fraise & Vautrey (1956)は、基本図形と L 字 (離脱)型について 6 歳児 (36 名)と 9 歳から 10 歳 (55 名)、高校卒業 (47 名)、教養学生 (40 名)、理系学生 (43 名)の間で錯視量を比較した。その結果、基本図形では差はなかったが、L 字 (離脱)型については順に 78.3%、79.0%、81.3%、80.0%、88.3%となり、6 ~ 10 歳の錯視量がもっとも大きく、以後教育環境に関わらず錯視は減少傾向だと報告した。Brosvic et al. (1993)は、基本図形と L 字型を用いて 3 歳から 20 歳まで 1 歳ごとに錯視量を測定した。その結果、基本図形では年齢が上がるに従って錯視量が減少傾向を示すが (3 歳: 73.2%; 20 歳: 91.4%)、特に 10 歳から 11 歳にかけて大きな減少傾向がみられた。L 字型では、3 歳から 6 歳かけて錯視量が増大し 6 歳で最大となり (81.4%)、8 歳から 9 歳で顕著な減少を示し、11 歳付近から錯視量はほぼ一定になることを報告した (93.6%)。なお彼らは物理的には同じ長さの帆線と底線を単独で提示して知覚される長さを測定したところ、いずれの年齢でも底線よりも帆線の方をより短く知覚したことを報告した (72.5% > 84.7%)。さらに、年齢における直線の感受性について検討し、帆線については 8 歳のころが最も大きく、13 ~ 14 歳で急激に減少し (87.5%)、15 歳ではほぼ成人と同程度にな

った (86.5%)。一方、底線については3歳から15歳までほぼ直線的に減少し、その後成人と同程度になった (93.5%)。

年齢比較については統制を取ることが非常に難しく、本当に年齢のみの影響なのかを証明することが難しいといえる。それは年齢が上がると様々な経験も増えることから、年齢のみの影響をみることは事実上不可能に近いからである。しかしながら、本論文から言えることは、年齢が何かしらVHIに影響を与えているということである。

性差の影響 Fraise & Vautrey (1956)は、前述の観察者を対象にして性差も検討した。その結果、基本図形では、性差はみられなかったが、L字 (離脱型)については一部 (9~10歳群; 教養学生群)に性差がみられた。Thompson & Schiffman (1974)は、逆L字型を用いて一部の条件で女性 (97.9%)よりも男性 (95.8%)で錯視量が有意に大きくなることを報告した。Brosvic et al. (1993)は、基本図形とL字型を用いたが、どちらの図形でも性差がみられないと報告した。同様に Blanus & Zdravkic (2015)は、基本図形において性差がみられないことを報告した。

性差についてはこれまで様々な分野で研究が行われており、現在に至るまで研究者にとって興味の強い項目の1つである。今回の本論文の結果からは基本図形については差がないと言って良いと考えられる。しかしながら、基本図形以外についてはまだ検討の余地が残っている。

また長谷川・早坂 (2012)は、色を感じ取る網膜細胞構造をシミュレーションし、男女差を明らかにした。そのことから、今後は提示図形の色も検討課題となりうる可能性がある。

学習の影響 学習によって、VHIの錯視の方向や錯視量が消失したり、増大したり、あるいは一定であるということを示すことはVHIの情報処理が生得的なものか、経験的なものかを判断するうえでは重要なものと思われる。

Vette (1964)は、基本図形やL字図形を各30名の観察者に暗闇で右眼のみで観察させた。その際、観察者の半分には底線における帆線の長さを計測させ、残り半分には逆に帆線における底線の長さを計測させ、1試行から10試行 (以下、経験無)と51試行から60試行 (以下、経験有)の平均値を比較した。その結果、基本図形は錯視量が有意に小さくなる (経験無:85.75%; 経験有:92.19%)が、逆にL字図形は錯視量が有意に大きくなる (経験無:97.31%; 経験有:94.01%)ことを示した。

村井・石井 (2015)は、4名の観察者に基本図形の底線を基準として帆線と同じ長さに調節させた。これを1試行として20回練習させた方 (84.5%)が練習させなかった方 (80.9%)よりも錯視量が減弱することを示した。

以上のことから、元来錯視には学習の効果 (練習効果)が存在することが知られていたが、実験的にも明らかとなっ

た。

学術経験の影響 Fraise & Vautrey (1956)は、初等教育卒、高卒未満、教養系大卒、科学系大卒、そして心理学部の学生を対象にして基本図形とL字 (離脱型)の錯視量を測定した。その結果、基本図形では教養系大卒 (87.7%)に比べ心理学の学生 (90.3%)の方が過大視が小さくなることを示したが、L字 (離脱型)では、学術経験に影響がないことを報告した。Edwards, Brosvic, & Dihoff (1993)は建築や自然科学などを学んだ観察者の方が、理髪や自動車修理などの実学を学んだ観察者や社会科学を学んだ観察者よりも基本図形の過大視が有意に大きくなることを報告した。しかしながら、L字型は差がないことを報告した。

このような学術的経験が錯視に影響するのかしないのかは認知的な影響を推し量る上では重要である。しかしながら、単に観察者の学年などの背景で比較するのではなく、知識面や経験などにより区分するなど実験統制をより綿密に行う必要があり、先行研究からだけでは結論付けることは難しいと思われる。

総合考察

本研究では、これまでの数多くの研究文献からVHIを引き起こす諸現象について、普遍性があるかないかを整理し、今後の研究の方向性あるいは課題を見出すことを目的に実施した。このため、まずVHIの発生要因を提示図形に關係する要因 (物理的要因)と観察者側からの要因 (観察者要因)とに分類した。次に各要因について分析を行い、明らかになった結果とこれからの課題について考察した。

物理的要因

刺激図形 刺激そのものがもつ物理的特性が、VHIの現れ方や強さに一貫して影響があると認められたのは以下の3要因である。第一に、接点位置が中点である基本図形では、垂直線分が水平線分よりも10%程度短く見えることである。すなわち過大評価が生じて底線よりも帆線が短く知覚された (Finger & Spelt, 1947; Künnapas, 1955a; 大野, 1959; Suto, 1960; Cormack & Cormack, 1974; Carven, 1993; Wolfe et al., 2005; Hamburger & Hansen, 2010; Mikellidou & Thompson, 2013; Marma et al., 2015)。第二に、接点位置が端点であるL字および逆L字では、垂直線分が水平線分よりも3%程度短く見えることである。すなわち過大評価が生じて底線よりも帆線が短く知覚された (Ritter, 1917; Künnapas, 1955a, 1957b; Suto, 1960; Morinaga et al., 1962; Avery & Day, 1969; Cormack & Cormack, 1974; Schiffman & Thompson, 1975; Wolfe et al., 2005; Mikellidou & Thompson, 2013; Marma et al., 2015)。第三に、刺激図形の向き、すなわち左右方向に対する影響である。基本図形やT字図形と比較して、左右

に回転させた図形(十・十)は錯視量が接点位置にかかわらず全体的に減弱した(Künnapas, 1955a; Marma et al., 2015)。この結果はL字や接点位置に関わらず一様に生じることから、縦と横の比率が本質的に異なっている(異方性)と考える研究者も多い。要するに、縦方向での錯視の方が横方向での錯視よりもより強く起こることを示している。

一方、結果が対立していたり、VHIとの関係性が不明確と認められた要因は以下の通りである。第一に、中点と端点の間に接点位置がある場合である。そのVHIの現れ方や強さについては、縦軸を錯視量、横軸を接点位置とした場合、中点を底とするV字型(Künnapas, 1955a)、イチヨウ型(Wolfe et al., 2005)、逆に中間で錯視量が増大するM字型(Marma et al., 2015)など結果が分かれている。第二に、観察者の矢状方向、すなわち前後方向に傾けた図形に対しては、錯視量変化は右下がり(von Collani, 1985b)あるいはW型のプロフィール(安岡・石井, 2014)とに結果が分かれている。第三に、刺激図形の大きさの要因である。刺激が大きい方が錯視が強くなるという結果(Pollock & Chapanis, 1952)と影響はないという結果(Valentine, 1912a)で対立していた。

これらのことから、第一に中点と端点の間の接点位置を組織的に操作したとき(cf. 小原・川合, 2020a)、第二に図形を矢状方向に系統的に傾けたとき(cf. 小原・川合, 2021)、第三に刺激の大きさに距離要因を加えたときのVHIの変化プロフィールをそれぞれ得ることが必要である。この結果によってVHIの認識には形状が影響しているのか、それとも興行知覚などの位置が影響しているのかが明らかになる。このことにより、脳において錯視が発生する場合の経路が、物体の形状を把握する側頭葉経路(藤田, 2007)を用いているのか、物体の位置を把握する頭頂葉経路(藤田, 2007)を用いているのかを検討する材料となり、錯視の発生機序解明に寄与できるのではないかと考える。

実験環境 刺激を提示する実験環境に属する物理的要因については、提示時間を除いて一貫した知見はほとんどみられなかった。第一に、実験室の明るさについては、暗所視(0~0.01 lx)よりも明所視(10 lx以上)の方が錯視量が有意に減弱したという結果(Künnapas 1957b)と、変わらなかったという結果(Ritter, 1917; Avery & Day, 1969)が対立していた。また薄明視(0.01~10 lx)では錯視量に変化がなかったという報告もみられた(江草・御領, 1998)。第二に、刺激図形を囲む背景については、横長の枠に比べて縦長の枠の方が錯視量が有意に小さくなるという結果(Künnapas, 1957a, 1959)と逆に大きくなるという結果(大野, 1959; Prinzmetal & Gettleman, 1993)、あるいは変わらないという結果(Houck et al., 1972)で対立していた。第三に提示時間については、概ね一貫した結果が得られていた。100ms程度の提示に比べ、提示時間が長くなるほ

ど錯視が減弱した(Faisse & Vautrey, 1956; Piaget et al., 1958)。

これらのことから、第一に部屋の明るさを暗所視から明所視まで段階的に変化させたとき錯視の現れ方や強さ(cf. 小原・川合, 2020b)、第二に図形を囲む背景の形状、大きさ、色合い、複雑さなどそれぞれの要素を距離要因を配慮した上で段階的に操作したときの錯視の現れ方や強さを測定することが必要である。このことによって、人間の視覚に大きな影響を及ぼす環境要因が明らかになるため、今後視覚に関する研究を行う際に重要な知見を得られると考えられる。

観察者要因

観察方法に属する要因 観察方法に関して、VHIの現れ方や強さに共通して影響があると認められたのは以下の1要因であった。それは、眼球運動の要因で、観察者に注視させた方が自由観察させるよりも錯視がより強くなるという結果であった(Künnapas, 1958b; Chouinard et al., 2017)。

一方、結果が対立していたり、VHIとの関係性が不明確と認められた要因は以下の通りである。第一に単眼視と両眼視については、Valentine(1912a)やVette(1964)は左右差に触れ、右単眼視の方が左単眼視より錯視が強くなることを報告し、Künnapas(1957c)は提示図形により異なることを示した。しかし、利き目と非利き目を考慮しておらず、Prinzmetal & Gettleman(1993)が利き目と非利き目を考慮した上で単眼視が両眼視よりも錯視が弱くなることを示したが、利き目と非利き目の比較は行わなかった。

第二に、中心視と周辺視については、中心視で錯視図形を観察した時の方が左右方向の周辺視のそれよりも錯視が強くなるという結果(Pearce & Matin, 1969)と逆に弱くなるという結果(Thompson & Schiffman, 1974)で対立していた。また上下方向の周辺視では、中心視の方が錯視が強くなった(Pearce & Matin, 1969)。第三に、観察者の姿勢に関する要因である。つまり、側臥位では正立位よりも錯視が減弱するという知見(Künnapas, 1958a; Avery & Day, 1969; Prinzmetal & Gettleman, 1993; Higashiyama, 1996; 東山, 1997, 2012)が多い。しかし、影響がない(Ritter, 1917; 大野, 1959; Avery, 1970)、あるいは側臥位で錯視がより強くなるという知見(Morinaga et al., 1962)もみられる。

これらのことから、第一に利き目・非利き目あるいは左右差を十分考慮した上での単眼視および両眼視を用いたとき(cf. 小原・川合, 2020a)、第二に注視線を厳密に制御できる環境下で中心視と周辺視を用いたとき、第三に姿勢軸を厳密に制御できる環境下で、重力軸と姿勢軸(網膜子午線)間の角度変化を段階的に行ったときのそれぞれの変化プロフィールを得ることが課題であろう。これらによって、視

覚に関する研究を行う際に重視しなければならない要因を特定することができ、より明確な研究を行うことができると考えられる。

個人差の要因 個人差が VHI の現れ方や強さに共通して認められたのは以下の 3 要因である。第一に、年齢の影響については 6 歳付近で錯視がもっとも強くなり、それ以降年齢が進むに従い錯視が弱くなった (Fraisse & Vautrey, 1956; Brosvic et al., 1993)。第二に、学習の影響については、練習回数が少ない方が多い方よりも錯視が強くなった (Vette, 1964; 村井・石井, 2015)。第三に、学術経験の有無については、錯視の現れ方に差がなかった (Fraisse & Vautrey, 1956; Edwards et al., 1993)。

一方、対立していた要因は性差の影響であった。VHI に影響がないという知見 (Brosvic et al., 1993; Blanusa & Zdravkic, 2015) と、男性の方が錯視が強くなるという知見 (Thompson & Schiffman, 1974) がみられる。

これらのことから、個人差に関しては性差についてまだ議論の余地が残されている。

要約

垂直-水平錯視 (Vertical-Horizontal Illusion: VHI) に関する 1907 年から 2017 年までの先行研究を調査し、今後 VHI の発生機序の解明に役立つことを目的に、VHI の発生に関与する要因を単純化して大きく、提示図形に関する物理的要因と観察者要因に分類、精査した。その結果、物理的要因の刺激要因である接点位置について、多くの研究では、分割錯視と異方性により垂直線分が水平線分より長く見える過大視を支持し、普遍的要因と考えられる。しかし、他の物理的要因では実験環境が同一でないなど条件が異なる場合もあり、しかも結果が対立するケースもあった。また、観察者要因については、観察者の見方、目の障がいと個人差など要因が多く、しかも研究数が少ない要因もあり、統一的な見解を得ることは難しい。以上のことから、今後の研究では、それぞれの要因に対して、より厳密で組織的な検証が必要であり、VHI の発生機序解明に繋がる普遍性を得るためにも、さらなる検討が必要である。

引用文献

- Avery, G. C. (1970). Error of standard in the horizontal-vertical illusion. *Perception & Psychophysics*, 8(1), 26-28.
- Avery, G. C. & Day, R. H. (1969). Basis of the horizontal-vertical illusion. *Journal of Experimental Psychology*, 81(2), 376-380.
- Begelman, D. A., & Steinfeld, G. (1967). An investigation of several parameters of the horizontal-vertical illusion. *Perception & Psychophysics*, 2(11), 539-543.
- Blanusa, J. & Zdravkic, S. (2015). Horizontal-vertical illusion in mental imagery: quantitative evidence. *frontiers in Human Neuroscience*, 9, 1-11.
- Boring, E. G. (1942). Sensation and perception in the history of psychology. New York: *Appleton-century-crofts*.
- Brosvic, G. M., Bailey, S., Baer, A., Dihoff, R. E., Caroenter, L., Baker, S., & Cook, M. (1993). Developmental susceptibility to the horizontal-vertical illusion. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 31(6), 609-612.
- Chapanis, A. & Mankin, D. A. (1967). The vertical-horizontal illusion in a visually-rich environment. *Perception & Psychophysics*, 2(6), 249-255.
- Chouinard, P. A., Unwin, K. L., Landry, O., & Sperandio, I. (2016). Susceptibility to optical illusions varies as a function of the autism-spectrum quotient but not in ways predicted by local-global biases. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46, 2224-2239.
- Chouinard, P. A., Peel, H. J., & Landry, O. (2017). Eye-tracking reveals that the strength of the vertical-horizontal illusion increases as the retinal image becomes more stable with fixation. *frontiers in Human Neuroscience*, 11(143), 1-14.
- Cormack, E. O. & Cormack, R. H. (1974). Stimulus configuration and line orientation in the horizontal-vertical illusion. *Perception & Psychophysics*, 16(2), 208-212.
- Day, R. H. & Avery, G. C. (1970). Supplementary Reports Absence of the horizontal-vertical illusion in haptic space. *Journal of Experimental Psychology*, 83(1), 172-173.
- de Montalembert, M. & Mamassian, P. (2010). The vertical-horizontal illusion in hemi-spatial neglect. *Neuropsychologia*, 48, 3245-3251.
- Deregowski, J. & Ellis, H. D. (1972). Effect of stimulus orientation upon haptic perception of the horizontal-vertical illusion. *Journal of Experimental Psychology*, 95(1), 14-19.
- Edwards, K. R., Brosvic, G. M., & Dihoff, R. E. (1993). Influences of academic training and nonacademic experience on susceptibility to the horizontal-vertical illusion. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 31(5), 465-467.
- 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.
- Finger, F. W. & Spelt, D. K. (1947). The illustration of the horizontal-vertical illusion. *Journal of Experimental Psychology*, 37(3), 243-250.
- Fraisse, P. & Vautrey, P. (1956). The influence of age, sex, and specialized training on the vertical-horizontal illusion. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 8(3), 114-120.
- 福田 忠彦 (1978). 図形知覚における中心視と周辺視の機能差. テレビジョン学会誌, 32(6), 492-499.
- 藤田 一郎 (2007). 「見る」とはどういうことか. 脳と心のかかわりをさぐる. 化学同人.
- Girgus, J. S. & Coren, S. (1975). Depth cue and constancy scaling in the horizontal-vertical illusion: The bisection error. *Canadian Journal of Psychology*, 29, 59-65.

- Gregory, R. L. (1963). Distortion of visual space as in appropriate constancy scaling. *Nature*, *199*, 678-680.
- Hamburger, K. & Hansen, T. (2010). Analysis of individual variations in the classical horizontal-vertical illusion. *Atten Percept Psychophys*, *72*(4), 1045-1052
- Hanley, C & Zerbolio, D, T. (1965). Developmental changes in five illusions measured by the up-and-down method. *Child Development*, *36*, 437-452.
- Hartline, H. K. (1940). The nerve messages in the fibers of the visual pathway. *Journal of the Optical Society of America*, *30*, 39-247.
- 長谷川 智美・早坂 太一 (2012). 視覚系の男女差に着目した色情報処理モデル. 電子情報通信学会技術研究報告. NC, ニューロコンピューティング, *112*(298), 33-38.
- Higashiyama, A. (1992). Anisotropic perception of visual angle: Implications for the horizontal-vertical illusion. *Perception & Psychophysics*. *51*(3), 218-230.
- Higashiyama, A. (1996). Horizontal and vertical distance perception: The discorded-orientation theory. *Perception & Psychophysics*, *58*, 259-270.
- 東山 篤規 (1997). 野外における垂直・水平距離の知覚. *VISION*, *9*, 217-224.
- 東山 篤規 (2012). 第 2 章 建物の大きさと観察姿勢, 体と手がつくる知覚世界. 勁草書房, 27-37.
- 平井 誠也 (1972). 錯視に関する発達の研究. 長崎大学教育学部教育科学研究報告, *19*, 61-73.
- Hilano, T. & Yanaka, K. (2011). New optical illusion by animating judd illusion using scalable vector graphics. *Proceedings of the International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP-2011)*, 401-404.
- Houck, R. L., Mefferd, R. B. Jr., & Greenstein, G.J. (1972). Influence of a visual frame and vertical-horizontal illusion on shape and size perception. *Journal of Experimental Psychology*, *96*(2), 273-279.
- Howe, C. Q. & Purves, D. (2002). Range image statistics can explain the anomalous perception of length. *PANAS*, *99*(20), 13184-13188.
- 池田 光男 (1988). 眼はなにを見ているか 視覚系の情報処理. 平凡社
- 今井 省吾 (1960). 幾何学的錯視に関する研究の現状. 心理学研究, *30*(5), 58-67.
- 生澤 雅夫 (1958). 図形の方位と認知及びその発達. 人文研究, *9*(4), 349-367.
- 石井 雅博 (2006). 騙される脳 バーチャルリアリティと知覚心理学入門. 日本バーチャルリアリティ学会 VR 心理学研究委員会 (編) (pp.27-39)講談社.
- Julesz, B. (1971). Foundations of cyclopean perception. Chicago: University of Chicago Press.
- 金子 寛彦 (2010). 第 46 回 知っておきたいキーワード 固視微動. 映像情報メディア学会誌, *63*, *11*, 1538-1539.
- Kinoshita Y., Tang, Z., & Ishii, M. (2012). Horizontal Vertical Illusion by Touch. *i-Perception*, *3*, 633.
- 北岡 明佳 (2005). 幾何学的錯視 後藤卓男・田中平八 (編) 錯視の科学ハンドブック (pp. 56-100) 東京大学出版会.
- 北岡 明佳 (2010). 1 ものの大きさや傾きが変わって見える錯視 -幾何学的錯視- 1.5 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. (1955a). An analysis of the "Vertical-Horizontal illusion". *Journal of Experimental Psychology*, *49*(2), 134-140.
- Künnapas, T. M. (1955b). Influence of frame size on apparent length of a line. *Journal of Experimental Psychology*, *50*(3), 168-170.
- 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.
- Künnapas, T. M. (1957c). Interocular differences in the vertical-horizontal illusion. *Acta Psychologica*, *13*, 253-259.
- Künnapas, T. M. (1958a). Influence of head inclination on the vertical-horizontal illusion. *The Journal of Psychology*, *46*, 179-185.
- Künnapas, T. M. (1958b). Fixation and the vertical-horizontal illusion. *Acta Psychologica*, *14*, 131-136.
- Künnapas, T. M. (1959). The Vertical-horizontal illusion in artificial visual fields, *The Journal of Psychology*, *47*, 41-48.
- Li, Z. & Durgin, F. H. (2017). A Large-Scale Horizontal-Vertical Illusion Produced With Small Objects Separated in Depth. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *43*(8), 1473-1479.
- Mamassian, P. & de Montalembert, M. D. (2010). A simple model of the vertical-horizontal illusion. *Vision Research*, *50*(10), 956-962.
- Mankin, D. A. (1969). The influence of perceptual anchors and visual noise on the vertical-horizontal illusion. *Perception & Psychophysics*, *5*(3), 149-154.
- 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.
- Meyer, G. E. (1986). Interactions of subjective contours with the Ponzo, Müller-Lyer, and vertical-horizontal illusions. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *24*(1), 39-40.
- Mikellidou, K. & Thompson, P. (2013). The vertical-horizontal illusion: Assessing the contributions of anisotropy, abutting, and crossing to the misperception of simple line stimuli. *Journal of Vision*, *13*, 1-11.
- 三浦 健一郎・坂戸 勇介・河野 憲二・小川 正 (2011). サッケードと追跡眼球運動の視標選択のメカニズム. 電子情報通信学会技術研究報告. NC, ニューロコンピューティング, 電子情報通信学会, *111*(96), 61-66.
- Morinaga, S., Noguchi, K., & Ohishi, A. (1962). The horizontal-vertical illusion and the relation of spatial and retinal orientations. *Japanese Psychological research*, *4*(1), 25-29.
- 村井 彩音・石井 雅博 (2015). 幾何学錯視図形の線分の長さ判断における方略観察の効果. 2015 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 645-646.
- Murakami, Y., Mizuno, T., Yamanaka, Y., Huo, M., & Murakami, S. (2019). The Fick illusion increases toe-clearance when going up stairs. *The 28th International Meeting of Physical Therapy Science in Korea*, 15.
- 村瀬 律男 (1968). 幾何学的錯視の発達の研究. 日本心理学

- 会第32回大会発表論文集, 142.
- 小田 浩一 (1999). 中心視と周辺視の機能的差異 ロービジョンの研究から. *VISION*, 12(4), 183-186.
- 小原 宏基・川合 悟 (2020a). 垂直・水平錯視再考—接点位置, 向きおよび単眼・両眼視が錯視量変化に及ぼす影響—. *基礎心理学研究*, 38(2), 214-226.
- 小原 宏基・川合 悟 (2020b). 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—. *帝塚山大学心理科学論集*, 3, 13-20.
- 小原 宏基・川合 悟 (2021). 垂直・水平錯視再考—観察者の俯瞰および仰視が錯視量変化に及ぼす影響—. *帝塚山大学心理科学論集*, 4, 11-21.
- 大野 晋一 (1959). 垂直・水平錯視の研究. *人文研究: 大阪市立大学大学院文学研究科紀要*, 10(5), 460-479.
- 大野 晋一 (1961). 垂直・水平錯視の研究 (2): 測定法を中心として. *人文研究: 大阪市立大学大学院文学研究科紀要*, 12(3), 235-247.
- Oppel, J. J. (1855). *Über geometrisch-optische Täuschungen* [On geometrical-optical illusions]. *Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt am Main*, 37-47.
- 大山 正 (2005). わが国における「錯視」研究の歴史, 錯視研究の意義 後藤卓男・田中平八 (編) 錯視の科学ハンドブック (pp. 2-14) 東京大学出版会.
- 大山 正 (2008). 誌上討論 空間の知覚と認知のモデル 空間の知覚・認知モデル検討のための実証的方法論をめぐって. *認知科学*, 15(4), 683-688.
- Pearce, D. & Matin, L. (1969). Variation of the magnitude of the horizontal-vertical illusion with retinal eccentricity. *Perception & Psychophysics*, 6 (4), 241-243.
- Piaget, J., Bang, V., & Matalon, B. (1958). Note on the law of the temporal maximum of some optico-geometric illusions. *The American journal of psychology*, 71 (1), 277-282.
- Перельман, Я. И. (1959). *Занимательная геометрия, Время*. ペレルマン ヤ・イ, 物部 長興 (訳) (1962). *たのしい幾何学* (第1) 三角形の魔術, みすず書房.
- Prinzmetal, W. & Gettleman, L. (1993). Vertical-horizontal illusion: One eye is better than two. *Attention Perception & Psychophysics*, 53 (1), 81-88.
- Pollock, W. T. & Chapanis, A. (1952). The Apparent length of a Line as a function of its inclination. *Quarterly journal of experimental psychology*, 170-178.
- Renier, L., Bruyer, R., & De Volder, A. G. (2006). Vertical-horizontal illusion present for sighted but not early blind humans using auditory substitution of vision. *Percept & Psychophys*, 68(4), 535-542.
- 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.
- Robinson, J. O. (1998). *The vertical-horizontal illusion, The Psychology of Visual Illusion*, Courier Dover Publications, 96-100.
- Schiffman, H. R. & Thompson, J. (1975). The role of figure orientation and apparent depth in the perception of the horizontal-vertical illusion. *Perception*, 4(1), 79-83.
- Shipley, W. C., Nann, B. M., & Penfield, M. J. (1949). The apparent length of tilted lines. *Journal of Experimental Psychology*, 39(4), 548-551.
- Suto, Y. (1960). Study on the interdependence of the horizontal-vertical illusion and the divided illusion: 1. *Japanese Psychological research*, 2(3), 81-93.
- 田島 幸男 (1960). 網膜対応子午線の相対的傾斜角度に関する研究. 群馬大学.
- Thompson, J. & Schiffman, H. R. (1974). The effect on the magnitude of the horizontal-vertical illusion of horizontal retinal eccentricity. *Vision Research*, 14 (12), 1463-1465.
- Titchener, E. B. (1901). *Experimental psychology: A manual of laboratory practice*. Vol.1: Qualitative experiments, part 1: Student's manual. New York: Macmillan.
- 上野 雄宏 (1968). 大きさの恒常性の研究. *人文研究: 大阪市立大学大学院文学研究科紀要*, 20(2), 65-150.
- Valentine, C. W. (1912a). Psychological theories of the horizontal-vertical illusion. *British Journal of Psychology*, 5(1), 8-35.
- Valentine, C. W. (1912b). The effect of astigmatism on the horizontal-vertical illusion, and a suggested theory of the illusion. *British Journal of Psychology*, 5 (3), 308-330.
- Vette, R. L. (1964). An Investigation of the Visual Processes Involved in the Vertical-Horizontal Illusion. Western Michigan University, ScholarWorks at WMU.
- Vishton, P. M., Rea, J. R., Cutting, J. E., & Nuñez, L. N. (1999). Comparing Effects of the Horizontal-Vertical Illusion on Grip Scaling and Judgment: Relative Versus Absolute. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25 (6), 1659-1672.
- von Collani, G. (1985a). The Horizontal-vertical illusion in photographs of concrete scenes with and without depth information. *Perceptual and Motor Skills*, 61, 523-531.
- von Collani, G. (1985b). Retinal projection or size constancy as determinants of the horizontal-vertical illusion?. *Perceptual and Motor Skills*, 61, 547-557.
- Walters, S. A. (1942). A genetic study of geometrical optical illusions. *Genetic Psychology Monographs*, 25, 101-155.
- Winch, W. H. (1907). The Vertical-Horizontal illusion in school children. *British Journal of Psychology*, 2, 220-225.
- Wolfe, U., Maloney, L., & Tam, M. (2005). Distortions of perceived length in the frontoparallel plane: Tests of perspective theories. *Perception & Psychophysics*, 67 (6), 967-979.
- Wundt, W. (1898). *Die geometrisch-optischen Täuschungen*. *Abhandlungen der Sächsischen Akhademie der Wissenschaften*, 24, 53-178.
- Würsten, H. (1947). *L'Évolution des comparaisons de longueurs de l'enfant à l'adulte*. Neuchatel: Delachaux.
- Yacoub, E., Harel, N., & Ugurbil, K. (2008). High-field fMRI unveils orientation columns in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(30), 10607-10612.
- 山本 敏哉 (2016). 屈折倒乱視, 直乱視, 微小乱視における偽水晶体眼の偽調節. 筑波大学, 1-87.

- 安岡 晶子・石井 雅博 (2014). 奥行情報を含む垂直水平錯視の検討. 2014 年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, 33-34.
- 矢内 浩文・尾崎 結 (2016). フリーハンドで描かれた正方形は横長になることについて. 第 15 回情報科学技術フォーラム講演論文集, 393-394.
- Zhu, J. E. & Ma, W. J. (2017). Orientation-dependent biases in length judgments of isolated stimuli. *Journal of Vision*, 17(2):20, 1-19.

The vertical-horizontal illusion revisited: Research history and issues

Hiroki OHARA and Satoru KAWAI

Abstract

We investigated previous studies on the Vertical-Horizontal Illusion (VHI) from 1907 to 2017. The factors involved in the occurrence of VHI were simplified and broadly classified into physical factors related to the presented figures and observer factors, and scrutinized. As a result, many studies on the contact positions, which are the stimulating factor of the physical factors, supported the overestimation in which the vertical line segment appears longer than the horizontal line segment due to the split illusion and anisotropy. This is considered to be a universal factor. However, for other physical factors, there were cases where the conditions were different, such as the experimental environment was not the same, and the conditions were different, and the results were in conflict. Regarding the observer factors, it is difficult to obtain a unified opinion because there are many factors such as the observer's viewpoint, eye disorders and individual differences, and the number of studies is small. From the above, in future research, more rigorous and systematic verification is required for each factor.

Keywords: Vertical-Horizontal Illusion, Mechanism of VHI, Visual perception, Physical factor, Observer factor