

ミニチュアを使用した実世界における 大きさの恒常性の検討

Size Constancy in the Real World using the Miniature Walls

橋 本 悠 那

Yuna HASHIMOTO

(日本女子大学大学院人間社会研究科 心理学専攻博士課程後期)

要 約

ポンゾ錯視は幾何学的錯視の一種で、主に「大きさの恒常性の誤適用」によって説明される。このポンゾ錯視のバリエーションである変形ポンゾ図形に似た壁を現実世界や仮想現実空間（VR）で観察すると、遠くにあると感じられる線分が短く見えるという逆ポンゾ錯視が生じ、大きさの恒常性が正確に機能していない可能性が示唆される。この点をさらに検証するため、観察者から近い距離で、変形ポンゾ錯視図形のようなミニチュア模型に爪楊枝を貼り付け、その長さを判断する課題を行ったところ、逆ポンゾ錯視が生じた。この結果は、現実世界や VR 空間において、大きさの恒常性が必ずしも正確に機能しないことを示している。大きさの恒常性が達成されない原因としては、奥行き（対象までの距離）の見積もりが正しくない可能性があり、今後の検討課題である。

[Abstract]

Ponzo illusion is a type of geometrical illusion primarily explained by the misapplication of “size constancy”. When observing walls resembling the variations of the Ponzo illusion, such as the deformed Ponzo figure, in the real world or virtual reality spaces (VR), it can result in the reverse Ponzo illusion, where lines that are perceived as distant appear shorter. This suggests that size constancy may not function accurately. To further investigate this point, a task was conducted where toothpicks were attached to miniature models resembling deformed Ponzo illusion figures at a close distance from the observer, and their lengths were judged. The results showed the occurrence of the reverse Ponzo illusion. This indicates that in the real world or VR spaces, size constancy may not always function correctly. One possible cause for the failure of size constancy could be inaccurate depth (distance to the object) estimation, which warrants further examination in future studies.

はじめに

ポンゾ錯視(図 1A)は幾何学的錯視を代表する錯視図形であり、知覚心理学の教科書でも必ず紹介されているが、その理論は未だに議論されている(Yildiz, et al., 2022)。ポンゾ錯視成立の要因は「大きさの恒常性の誤適用」で説明される場合が多い(Gregory, 1968)。大きさの恒常性とは、ある物の大きさを視距離に関わらず正しく認識できる機能のことであり、この恒常性が誤適用されるときに錯視が生じるという仮説である。例えばShepard(1990)による大きさの恒常性錯視(図 1B)では右上の怪人の方が大きく見えるが、実際は2体の怪人は同じ大きさである。「大きさの恒

常性の誤適用」によると、

- (1) トンネルにおける単眼立体情報(線遠近法とテクスチャー勾配)から、右側の怪人は左側の怪人よりも遠くにいとと視覚系が解釈する。
- (2) 2体の怪人は網膜像上では同じ大きさであるという情報(例えば怪人に応答する神経細胞群の発火の度合いが左右で同じという情報)を視覚系が得る。

という2つの前提に基づいて、視覚系が見かけの大きさを推測する時に錯視が生じる。ここでいう推測とは、距離に左右されず正しい大きさを見極めることを意味し、これが恒常性の達成につながる。大きさの恒常性錯視において生じている、視覚系による推測の過程を文章化すると、「右の怪人の方が遠くにいるにも関わらず網膜像における大きさが同じということは、実際は右の怪人の方が大きいに違いない」となる。実際には、Shepardの錯視図形は2次元的な画像であるために、左と右の怪人における奥行き関係は存在せず、どちらも観察者から等距離の平面上にある。そのために、恒常性をもたらすための距離の推測は必然的に間違っている。このように、我々は網膜像をそのまま認識しているのではなく、奥行き情報を使って正しい大きさを推測しようとし、その過程で錯視が生じることがある。

ポンゾ錯視(図1A)の場合は、ポンゾ図形に特徴的な2本の斜め線分が線路や道路などに見られる奥行き印象を喚起させる。そのために、同じ大きさ(長さ)の2本の平行線が存在する奥行きは異なると解釈され、網膜像としては同じ長さではあるが、より遠くにあるはずの横線の方が長いように知覚されると説明される。

図1Cはポンゾ錯視の変形バージョンであり、通常のポンゾ錯視にみられる効果がより強くなっている(Ganel, et al., 2008)。通常のポンゾ錯視では、比較する線分は同じ長さであるが、この変形ポンゾ錯視図形では、右側の線分は左側の線分より短いにも関わらず、右側の線分の方が長く感じられる。これも原理は「大きさの恒常性の誤適用」で、背景にある壁のような図形(誘導刺激)における線遠近法とテクスチャー勾配によりもたらされる3次元的印象が錯視の原因であると説明される。

「大きさの恒常性の誤適用」理論によれば、誘導刺激の3次元構造に関する情報(奥行き手がかり)が増加すれば、知覚される奥行き量に依存する形で錯視量が変化する。したがって、より立体感をもたらす誘導刺激を用いれば、ポンゾ錯視量は増加すると予測される。そこで橋本ら(2022)では、コンピューターグラフィックス(CG)を利用して変形ポンゾ錯視図形(図1C)の誘導刺激(壁)をよりリアルに再現したCG図形(図1D)を作成した。そして、壁の位置を変えることにより見かけの奥行き量をシステムティックに変化させ、2次元ディスプレイ上で提示した。その結果、奥行き手がかりをより多く含むCG図形は、単純な線分のみで構成された図形よりも強力なポンゾ錯視効果をもたらした。また見かけの奥行きが大きい場合に錯視量が大きくなった。

「恒常性の誤適用」仮説からすれば、ポンゾ錯視や大きさの恒常性錯視は2次元平面上のみで生じる錯視である。なぜなら、実際には存在しない奥行きを推定するという過程が必須だからである。であるとすれば、実際の3次元空間においてはこうした錯視は生じずに、大きさの恒常性が達成されると考えられる。そこで、橋本ら(2022)では、CG図形よりも3次元情報が豊富な仮想現実(VR)空間において錯視をもたらす環境(図1D)を再現し、2本の線分の長さを比較する実験を行った。VR空間においてリアルな奥行き情報がシミュレートされ、かつ大きさの恒常性が機

能していれば、ポンゾ錯視は出現しないはずである。ところがこの予測に反して、ポンゾ錯視とは錯視の出方が反転する逆ポンゾ錯視が生じる結果となった。つまり、2本の線分は同じ長さであるにもかかわらず、より手前にある線分が長く見えた。これは大きさの恒常性が達成されなかったことを意味している。

しかしながら、VR空間では誘導刺激がもたらす奥行きが正しくシミュレートされなかった可能性があり、これが大きさの恒常性達成を妨害していた可能性がある。そこで、誘導刺激として現実世界に存在する実際の壁(図1E)を用いた実験も行った。この場合も2本の線分の長さは同じだと判断されると予測した。ところがVR空間の場合と同じく逆ポンゾ錯視が生じ、手前の線分の方が長く感じられた(橋本, 2023)。以上のことは、現実世界およびVR空間において、大きさの恒常性が正確に機能していない可能性を示唆している。本研究では、この可能性を結論づけるために、もう一つ条件を追加した。先の実験条件においては、観察者から線分までの距離が、VR空間の場合は2.3 m(シミュレートされた距離)、実際の壁の場合は3.5 mであった。人間の視覚系にとっては、恒常性を達成する上ではこれらの距離は長すぎのかもしれない。そこで本研究では、図1Dで示した壁をミニチュア模型で再現し、観察者から短い距離においては恒常性が達成されるか否かを検討した。

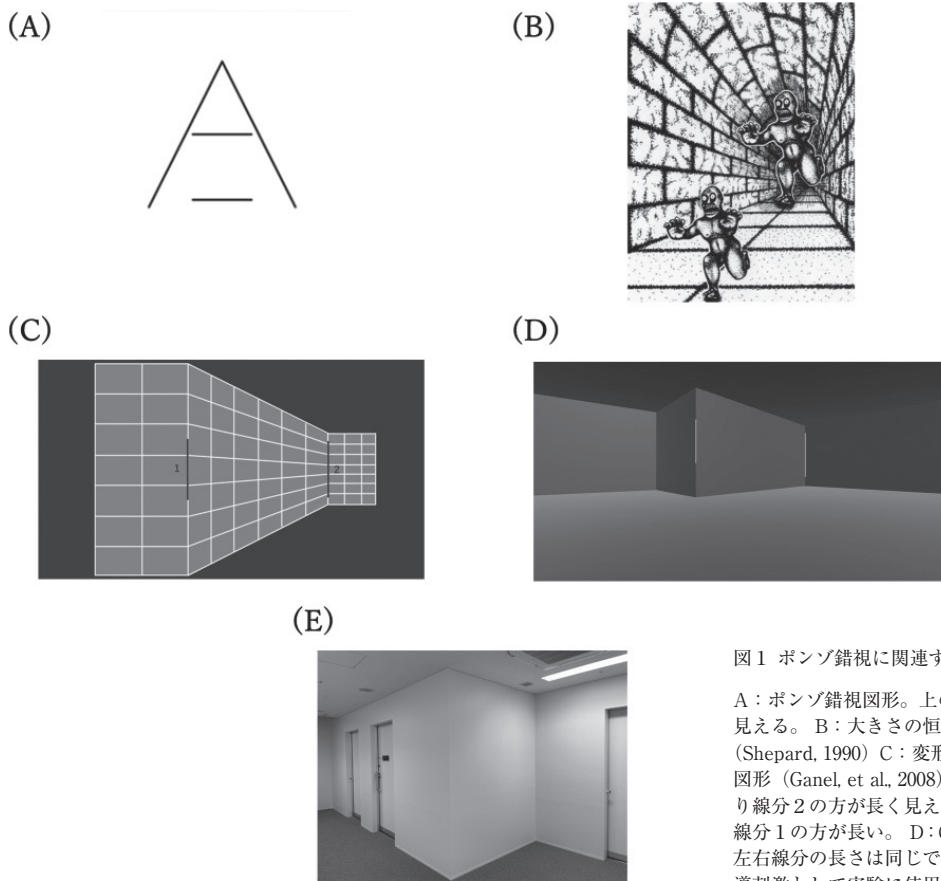


図1 ポンゾ錯視に関連する図形

A: ポンゾ錯視図形。上の横線が長く見える。B: 大きさの恒常性錯視 (Shepard, 1990) C: 変形ポンゾ錯視図形 (Ganel, et al., 2008)。線分1より線分2の方が長く見えるが、実際は線分1の方が長い。D: CG図形の例。左右線分の長さは同じである。E: 誘導刺激として実験に使用した壁(橋本, 2023)。日本女子大学百二十年館・心理学科実験室内。

実験

目的

現実世界およびVR空間では、手前にある線分の方が奥にある線分よりも長く見えた(逆ポンゾ錯視)。では、VR空間と同じ壁を模型で再現し、かつ観察者からの距離を短くしたとき、正確に対象の大きさ(長さ)を認識できるだろうか。本研究はこの点を明らかにすることを目的とした。

方法

実験参加者

矯正視力を含む視力が正常範囲にある7名が実験に参加した。

視覚刺激

変形ポンゾ錯視図形(図1C)を参考にCG図形(図1D)を作成した際、仮想空間で壁の配置を操作することにより、見かけの奥行き量を変化させた9種類の刺激を用意した(橋本ら, 2022)。このCG図形を2次元ディスプレイ上に提示した場合とVR空間に提示した場合は、錯視の出方こそ反転したもの、両方でシミュレートされた奥行きが深くなるほど錯視量が大きくなる結果となった。そこで、本実験ではその中から特に錯視効果が強かった配置と弱かった配置を選び、その壁構造を模型で再現した。壁とその土台はスチレンボード(2mm厚)で作成した。中心および左右の壁の長さは図2のとおりである。図2の左側は奥行き量が少なく錯視効果が弱かった配置、図2の右側2点は奥行き量が多く錯視効果が強かった配置である。観察される2本の線分刺激は爪楊枝を使用した。これを古典的なポンゾ錯視図形と同じように、壁のコーナーの中心に縦方向に貼り付けた。2本の線分刺激はどちらも同じ長さであり、3.0 cmとした。壁の構造や大きさ、線分刺激の位置、および実験参加者の位置を図3に示す。

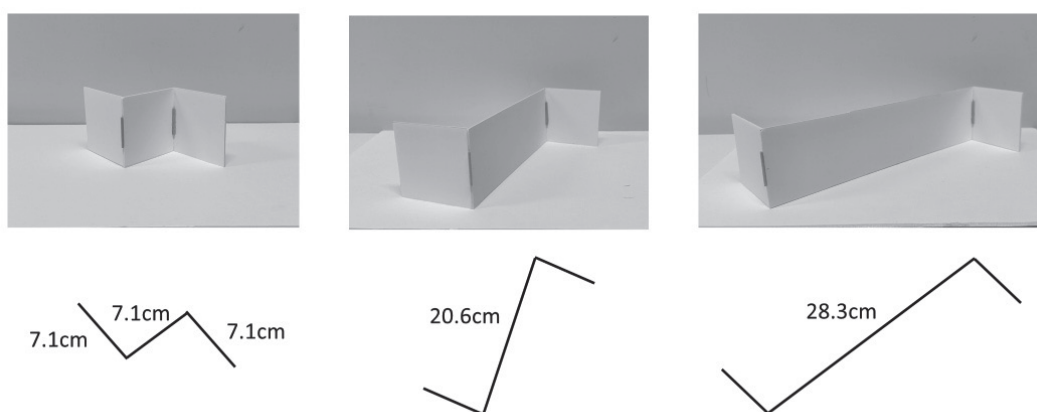


図2 実験に使用した模型 上段は実際に使用した模型。下段は模型を俯瞰して見た図。

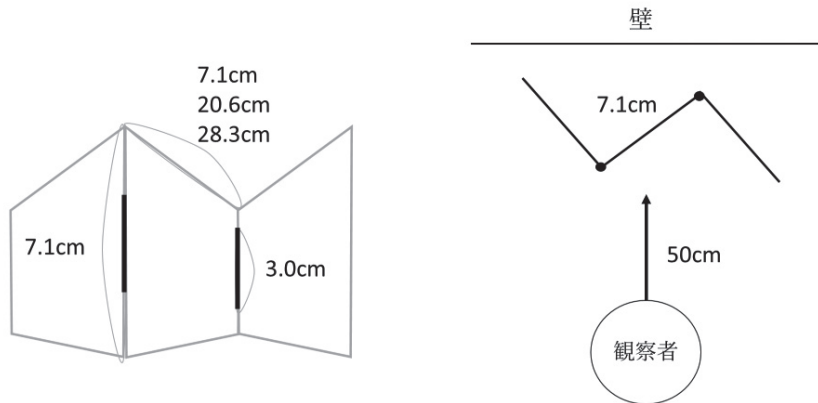


図3 模型の構造、線分の位置、実験参加者の位置

手続き

実験参加者の課題は、目の前に見える2本の爪楊枝うち、左右のどちらが長いと感じるかを答えるというものであった。実験参加者は、課題遂行の際、背景に何も映らないよう白い壁の前で観察した。実験終了後、回答を集計した。

結果

両線分が同じ長さに見えれば、大きさの恒常性が達成されたことになる。一方で、手前にある線分が長く見えれば逆ポンゾ錯視が生じたこととなる。回答を集計した結果、7人の実験参加者全員が、図2におけるどの模型においても、左(手前)に配置された線分が長いと回答した。

考察

実験の結果、変形ポンゾ錯視図形のようなミニチュア模型を作成し線分を配置した場合、奥に配置した線分の方を短く感じる逆ポンゾ錯視が生じた。実際の壁やVR空間の場合よりも、壁と観察者間の距離を短くした場合でも逆ポンゾ錯視が生じたことから、3次元空間内では、おそらく大きさの恒常性は正確に機能しておらず、知覚される長さは、網膜に投影された像の大きさ(長さ)に依存する可能性が示唆された。そのために、より手前に配置された線分の方を長く感じたのだといえる。

序論で述べたように、大きさの恒常性の達成には奥行き(視対象までの距離)の情報が本質的に重要である。エンメルトの法則(Emmert, 1881)によると、残像の知覚される大きさは、その距離に比例して変化する。つまり、大きさ知覚と距離の見積もりは本質的に依存している。いくつかの幾何学的錯視では、見かけ上の距離の違いが大きさ判断の誤りにつながると考えられるが、2次元画像における距離(奥行き)の見積もりが正しくないのは当然である。序論で述べたように、そもそも平面には奥行きが無いので、そこに感じられる奥行きは全て錯覚であるためである。一方で、VR空間や実際の壁、あるいはミニチュアの壁で距離が正しく見積もられていない、という結果は、大きさの恒常性を理解する上で重要な点であるといえる。

そもそも我々は距離の情報をどのように得ているのだろうか。一つは、網膜像の情報から距離情報を得る場合である。単眼立体視による物の距離と網膜像上の大きさはユークリッドの法則(距離が2倍になったら網膜像は1/2になる)関係にある。両眼立体視の場合は、両眼間にもたらされる両眼視差が物の大きさと距離の双方に依存している。こうした関係を、生後からの視覚経験により学習し、奥行き(距離)の認識が達成されると考えられる(Holway & Boring, 1941)。こうした仕組みにより、網膜像の大きさが小さくなる時、物体が小さくなったのではなく距離が遠くなったと感じる「大きさの恒常性」が生じる。

他方で、視覚系は距離の情報を常に網膜情報から得ているわけではない。眼球内の水晶体がその形状を変化させることで屈折力を増減させ、網膜像が距離の変化に応じて焦点を結ぶ過程は「調節(accommodation)」と呼ばれる。また、ヒトは対象を注視する際、その距離に応じて両眼を収束(輻輳, convergence)あるいは開散(divergence)させる。この過程は「輻輳開散運動(vergence)」という。これらの情報がフィードバック、あるいはフィードフォワードの形式で脳に伝わり、大きさ知覚と距離推定に利用される(Sperandio & Chouinard, 2015)。Holway & Boring (1941)は、網膜に投影される大きさを同じにそろえた上で距離を変えた刺激を用意した。通常の観察では、正しい大きさ(例えば遠い物は大きいと判断できる)が認識できた。ところが上記の情報(ここでは両眼立体視, 調節, 輻輳)を無くしていくと、刺激の大きさは、専ら網膜上の大きさに基づいて判断されるようになった。この研究は得られる距離(奥行き)の情報が豊富であることが物体の大きさを正しく判断するために必要であることを示している。テイラー錯視という現象は、距離情報における輻輳開散運動の重要性を示唆している(Carey & Allen, 1996, Sperandio et al, 2013)。この錯視では、暗闇の中で光の点滅によって手または手に持った物体の残像を発生させ、その直後に、手を前後に動かすと、残像は手が身体に近づくにつれて徐々に小さくなる。逆に手が身体から遠ざかるにつれて大きくなる。このとき、手を身体から遠ざけると両眼は輻輳し、手を身体に近づけると両眼は開散している(Sperandio et al, 2013)。

また、体性感覚、前庭感覚、自己運動の感覚、身体感覚といった網膜外情報も大きさ知覚に関わっていると考えられる。例えば『不思議の国のアリス』の物語のように、身体が小さくなる、あるいは大きくなるといった感覚を、VRを用いて観察者にもたせると、それに応じて物体の大きさに関する知覚が変化するという報告もある(Van der Hoort & Ehrsson, 2014)。

本研究の結果は、VR空間や実世界で大きさの恒常性が正確に機能しなかったことは、距離の見積り誤りの誤りと関係するのかもしれない。本研究では、上記に示すような調節や輻輳開散運動に基づく情報を無くしているわけではない。これらの情報を統制した時、さらに網膜上の大きさに依存する可能性がある。このことは今後の研究課題としたい。

文献

- Carey, D. P., Allan, K. (1996) . A motor signal and “visual” size perception, *Experimental Brain Research*. 110, 482-486
- Emmert, E. (1881) . Größenverhältnisse der Nachbilder, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*. 19, 443-450.
- Ganel, T., Tanzer, M., & Goodale, M. A. (2008) . A double dissociation between action and perception in the context of visual illusions: opposite effects of real and illusory size. *Psychological Science*, 19, 3, 221-225.
- Gregory, R. L. (1968) . Perceptual illusions and brain models. *Proceedings of the Royal Society London B: Biological Science*, 171, 1024, 279-296.
- 橋本悠那. (2023) . 実世界におけるポンゾ錯視の実験心理学的測定. 日本女子大学大学院人間社会研究科紀要, 29, 7-14.
- 橋本悠那, 和崎夏子, 竹内龍人. (2022) ポンゾ錯視と逆ポンゾ錯視の生成機序. 日本視覚学会 2022 夏季大会 (金沢大学角間キャンパス).
- Holaway, A. H., Boring, E. G. (1941) . Determinants of apparent visual size with distance variant, *The American Journal of Psychology*. 54, 21-37.
- Shepard, R. N. (1990) . *Mind Sights: Original visual illusions, ambiguities, and other anomalies, with a commentary on the play of mind in perception and art*. W.H. Freeman and Company.
- Sperandio, I., Chouinard, P.A. (2015) . The mechanisms of size constancy. *Multisensory Research*. 28, 253-283.
- Sperandio, I., Kaderali, S., Chouinard, P. A., Frey, J. and Goodale, M. A. (2013) . Perceived size change induced by non-visual signals in darkness: the relative contribution of vergence and proprioception, *Journal of Neuroscience*. 33, 16915-16923.
- Yildiz, G. Y., Sperandio, I., Kettle, C., & Chouinard, P. A. (2022) . A review on various explanations of Ponzo-like illusions. *Psychonomic Bulletin & Review*, 29, 2, 293-32
- Van der Hoort, B., Ehrsson, H. H. (2014) . Body ownership affects visual perception of object size by rescaling the visual representation of external space, *Attention Perception Psychophysics*. 76, 1414-1428.