

Pulfrich 奥行効果と絶対距離情報

中溝 幸夫*・陳 蕾**

*九州大学大学院 人間環境学研究所 心理学

〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-19-1

**福岡教育大学 教育学部

〒811-4125 宗像市赤間 729-1

1. はじめに

絶対距離情報を用いた相対距離（奥行）情報のスケーリング (scaling) は、視覚系の機能原理の一つである。これまでに両眼網膜像差 (binocular retinal disparity) や単眼運動視差 (monocular motion parallax) に基づいて知覚される奥行が絶対距離情報を用いてスケーリングされることを示唆する事実が報告されている¹⁻⁴⁾。

両眼網膜像差にもとづく奥行のスケーリングについては、従来、奥行恒常性の文脈で研究されてきた。例えば、下野ら⁵⁾は、両眼網膜像差 (12') にもとづいて知覚される奥行量を観察距離の関数として測定した。その結果、少なくとも 4m の観察距離までは、知覚された奥行量は、網膜像差の逆自乗法則の予測によく一致することがわかった。

一方、単眼運動視差にもとづく奥行のスケーリングについては、運動視差を等価網膜像差に変換した場合、運動視差にもとづいて知覚される奥行量が同じく逆自乗法則の予測に一致するかどうか調べられてきた³⁾。例えば、斎田・中溝⁶⁾は、ランダムドット刺激を用いて、刺激の網膜像サイズを一定にした場合、等価網膜像差の大きさが一定の範囲内 (1.8' ~ 28.8') で、知覚された奥行は 4m の観察距離まで逆自乗法則の予測にほぼ一致した。

ところで、視覚系は Pulfrich 現象で観察されるような運動性奥行効果についてもこの種の絶対距離情報を用いたスケーリングを行っているのだろうか？

Pulfrich 現象とは、観察者からある距離の前額平行面上を左右にゆれる振り子を、一方の眼が ND フィルターを通して両眼で観察すると、振り子は奥行方向に膨らんだ楕円軌道上を運動しているように見える運動奥行錯視である (図 1 参照)。この現象を発見した Pulfrich は、この錯視を次の 2 つの仮定を用いて説明した。1) ND フィルターによって刺激の光強度が弱められ、その結果、フィルターを通して観察するほうの眼からの視覚信号は、フィルターを通さない他方の眼からの視覚信号に比べると、脳に到達するのが時間的に遅れる。2) 視覚系は、この到達時間差を空間的な位置差に変換する。この考えは、遅延時間仮説 (latency hypothesis) と呼ばれており、眼の順応状態や両眼輝度差と視覚的潜時との関係を調べた研究によって支持されてきた⁷⁻⁹⁾。

Pulfrich の仮説で述べられた空間的位置差が、例えば、両眼網膜像差 (binocular retinal disparity) の等価物であるならば、視覚系は絶対距離情報を用いてスケーリングする可能性がある。本研究の目的は、Pulfrich 現象で観察される奥行量をいろいろな観察距離で測定し、その結果が網膜像差の逆自乗法則にもとづく予測とどの程度一致するかを調べるこ

であった。

2. 方法

2.1 刺激と装置

刺激は、垂直線分(縦4.5×横0.5 cm)で、モニターテレビの画面(縦23.5×横41.5 cm)上、22.5 cmの水平距離を左右に正弦波状に運動した。運動刺激の背景は、一辺が3 cmの正方形からなる線分(0.2 cm幅)の格子パターンであった。刺激の輝度は、平均57.7 cd/m²、背景の輝度は、平均29.8 cd/m²であった。

2.2 手続き

被験者は、椅子に座り、チンレストによって頭部を半固定された。被験者の眼の高さとモニターテレビの中央とが同じ高さになるように、チンレストの高さが調整された。被験者は、左眼の前に置かれた1.0 ODのフィルター(Kodak wratten filter)を通して運動する刺

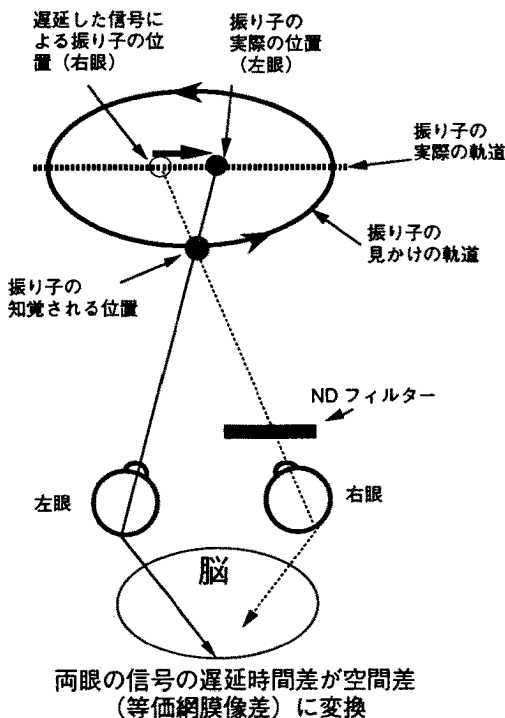


図1 Pulfrich 現象と遅延仮説。フィルターを通して観察するほうの眼からの信号が他方の眼からの信号に比べて遅延する。その遅延時間差が空間的な位置差を生む。

激を両眼で観察し、知覚された奥行量を2種類の方法(マッチング法と奥行再生法)で評定した。(a) マッチング法: 被験者は、刺激の運動軌道の中央部において、刺激の知覚された奥行(画面からの知覚された距離)と画面からプローブの先端までの知覚された奥行を一致させた。プローブ刺激は、幅1 cm高さ3 cm厚さ1 mmの棒状刺激で、その上端がモニターテレビの中央(つまり、眼の高さ)とほぼ一致しており、モニターテレビ画面から観察者側に約50 cmの距離を移動することができた。実験者がプローブ刺激を動かし、被験者は、プローブとモニターテレビとの距離が刺激の奥行と同じに見えたとき、それを実験者に報告した。実験者は、モニターテレビの画面からプローブまでの距離を測定した。(b) 奥行再生法: 被験者は、刺激の知覚された奥行をテープの長さで再生した。

独立変数は、刺激の運動速度(0.2, 0.4, 0.6 Hz)と観察距離(1, 2, 3, 4 m)であった。実験試行は、3ブロックからなっており、それぞれのブロックにおいて4種類の観察距離と3種類の運動速度のすべての組み合わせについてそれぞれ一試行が行われた。ある観察距離条件において、3種類の運動速度がランダムな順序で提示され、観察距離の順序は、被験者ごとに変えられた。総試行数は、3運動速度×4観察距離×3繰り返しの36試行であった。被験者は、はじめにマッチング法で、次に奥行再生法で反応した。

2.3 被験者

両眼視に異常のない成人8名(男性名、女性名)が被験者として参加した。そのうち2名は、この種の実験に豊富な経験をもつ被験者(著者の一人を含む)で、残りの6名はナイスな被験者であった。

3. 結果と考察

それぞれの被験者について、各下位条件における3回の試行の平均を分析の単位とし、知覚された奥行の測定法別に、2要因(運動

速度×観察距離) 繰り返し分散分析を行った。分析の結果、どちらの測定法についても交互作用は統計的に有意であった [マッチング法: $F(6, 42) = 15.312, p < .001$; 奥行再生法: $F(6, 42) = 3.623, p < .006$]。運動速度と観察距離の2つの主効果も統計的に有意であった [(運動速度) マッチング法: $F(2, 14) = 44.218, p < .001$; 奥行再生法: $F(2, 14) = 9.893, p < .002$; (観察距離) マッチング法: $F(3, 21) = 109.350, p < .001$; 奥行再生法: $F(3, 21) = 42.600, p < .001$] 図2, 図3は、それぞれマッチング法, 奥行再生法について、8名の被験者の知覚された奥行量の平均値を観察距離の関数としてプロットしたものである。それぞれのデータポイントを結ぶ線分の相対的な高さの差は、運動速度の主効果を示し、また線分の勾配は、観察距離の主効果を示している。

マッチング法を用いて得られた結果は、網膜像差の逆二乗法則の予測にはほぼ一致した。3種類の速度条件で得られた結果を平均し、それぞれの観察距離で得られた奥行量の平均値の比率 (1 m の測定値を 1.0 とした場合)

を算出した。その結果、1 m から 4 m の順序に、1.00, 2.12, 3.08, 4.08 となり、観察距離の増加に比例して増加した。一方、奥行再生法を用いて得られた結果は、逆二乗法則の予測値よりも低い値を示した。速度条件を平均した全体の奥行平均値の比率は、1.00, 1.76, 2.44, 3.18 となり、観察距離の増加にともなって増加したが、増加率はマッチング法のそれに比べると低かった。速度条件別の平均値では、遅い条件 (0.2 Hz) で、1.00, 1.91, 2.77, 3.79 となり、一方、速い条件 (0.6 Hz) では 1.00, 1.65, 2.29, 2.92 となった。

本実験の結果は、全体的には、1.5 m 以下の観察距離でPulfrich 奥行効果を調べた Wallach et al.¹⁰⁾ の結果を確認した。Wallach らは、奥行恒常性 (stereoscopic depth constancy) の文脈で、Pulfrich 奥行効果を 0.5, 1.0, 1.5 m の観察距離で測定し、知覚された奥行量と観察距離との関係を調べた。その結果、それぞれの観察距離において、平均奥行量の比率は、1.00, 1.74, 2.80 となり、われわれの奥行き再生法の結果とひじょうによく一致した値を示している。

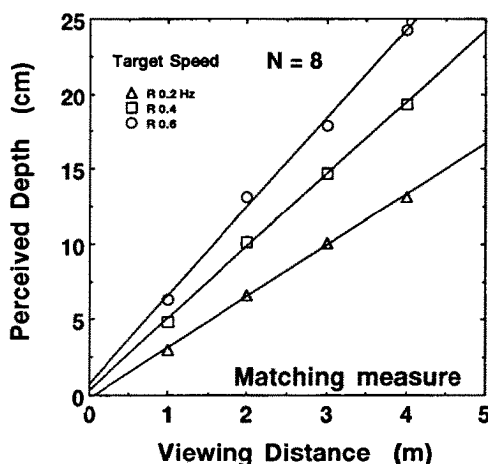


図2 観察距離の関数としてプロットされた知覚された奥行量の平均値 (マッチング法の場合)。直線は、速度条件別に平均値にあてはめた直線を示す。

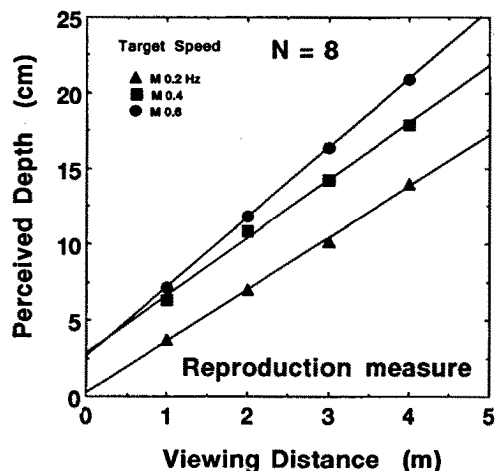


図3 観察距離の関数としてプロットされた知覚された奥行量の平均値 (奥行再生法の場合)。直線は、速度条件別に平均値にあてはめた直線を示す。

本実験の結果は、次の3項目に要約することができる。(a) どちらの測定法でも、すべての速度条件において、平均奥行量は観察距離の単調増加関数であった。(b) マッチング法の結果では、すべての速度条件において、知覚された奥行の平均値は、網膜像差の逆自乗法則にもとづく予測値によく一致した。(c) 奥行再生法の結果では、速度の遅い条件(0.2 Hz)において、平均値は予測値によく一致した。速い条件(0.4, 0.6 Hz)では、予測値より過小評価された。以上の結果は、視覚系が絶対距離情報にもとづいてPulfrich奥行効果をスケールリングしていると解釈できる。

本研究は、平成10年度文部省科学研究費・基盤研究C(2)(課題番号10610075, 代表者: 中溝幸夫)の援助のもとにおこなわれた。

文 献

- 1) H. Ono and J. Comerford: Stereoscopic depth constancy. *W. Epstein (ed): Stability and constancy in visual perception*. Wiley, New York, 1977.
- 2) M. Ritter: Perception of depth: processing of simple positional disparity as a function of viewing distance. *Perception and Psychophysics*, 25, 209-214, 1979.
- 3) M. Ono, J. Rivest and H. Ono: Depth perception as a function of motion parallax and absolute-distance information. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12, 331-337, 1986.
- 4) I. P. Howard and B. J. Rogers: *Binocular vision and stereopsis*. Oxford Press, New York, 1995.
- 5) 下野孝一, 中溝幸夫, 土田明美: 両眼網膜像差にもとづく見えの奥行量と絶対距離. *福岡教育大学紀要*, 39, 265-271, 1990.
- 6) 斎田真也, 中溝幸夫: 運動視差と奥行知覚. 第34回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 604, 1987.
- 7) A. Lit: The magnitude of the Pulfrich stereophenomenon as a function of binocular differences in intensity at various levels of illumination. *American Journal of Psychology*, 62, 159-181, 1949.
- 8) A. Lit: Effect of target velocity in a frontal plane on binocular spatial localization at photopic retinal illuminance levels. *Journal of the Optical Society of America*, 50, 970-973, 1960.
- 9) B. J. Rogers and S. M. Anstis: Intensity versus adaptation and the Pulfrich stereophenomenon. *Vision Research*, 12, 909-928, 1972.
- 10) H. Wallach, B. Gillam and L. Cardillo: Some consequences of stereoscopic depth constancy. *Perception and Psychophysics*, 26, 235-240, 1979.