

垂直方向に運動する振り子でプルフリッヒ現象は起こるか？

吉賀宏美*・中溝幸夫**

九州大学*文学部・**大学院 人間環境学研究院

〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-19-1

1. はじめに

前額平行面上を左右に揺れる振り子を、片眼の前に ND フィルターを置い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(図1)。この現象は発見者 C. Pulfrich の名をとってプルフリッヒ現象とよばれ、次のように説明されている。(1) フィルターを通して観察する眼からの信号は、他方の眼からの信号より時間的に遅れて中枢に到達する。(2) この両眼の時間差が空間的な網膜像差に変換され、見かけの奥行が生じる。この説明は視覚的遅延-空間的網膜像差仮説 (visual-latency spatial-disparity hypothesis, 以下、遅延仮説) とよばれ、これまで多くの研究によって支持されてきた。

従来の研究では、水平に動く振り子を観察したときにフィルターによって生み出される両眼時間差が水平網膜像差に変換されると考えられてきた。遅延仮説が正しいならば振り子の軌道方位を水平から垂直へと変えていくと、両眼の時間差が生み出す網膜像差は水平から垂直へと変化していくはずである。従来、垂直方向のプルフリッヒ現象において、垂直網膜像差は奥行手がかかりとならないために見かけの奥行は生じないと考えられ^{1,2)}、軌道方位と奥行効果の関係についての研究は行われていない。しかし近年、垂直網膜像差が奥行を生み出すことが分かってきた³⁾。遅延仮説が正しく、かつ視覚システムが垂直網膜像差を処理できるならば、垂直方向のプル

フリッヒ現象においても奥行が生じるはずである。本研究は以上の推測にもとづき、振り子の軌道方位と奥行効果の関係について調べ(実験1)、さらに実際に正弦波運動する指標をダイコプティックに両眼提示することによって水平および垂直網膜像差と知覚された奥行量の関係を調べた(実験2)。これらの結果にもとづいて、垂直方向のプルフリッヒ効果の原因について推論した。

2. 実験1: 振り子の軌道方位と奥行効果の関係

振り子の軌道方位を水平から垂直まで5段階に変えて提示し、軌道方位と奥行効果の関

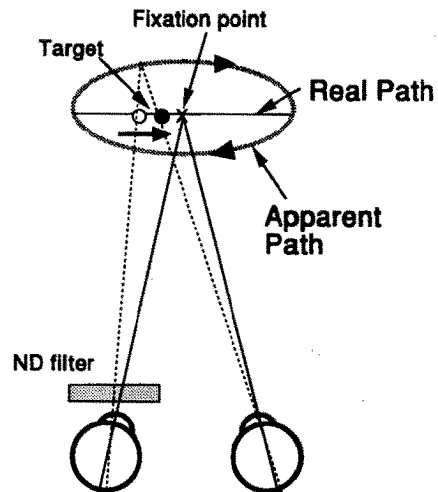


図1 プルフリッヒ現象。左眼の前にNDフィルターを置いて、前額平行面上を左右に振り子運動するターゲットを両眼で観察すると、ターゲットは楕円軌道上を上から見て時計回りに回転しているように見える。

係を調べた。

2.1 方法

刺激は幅 0.4 cm 長さ 2.5 cm の白色棒でモニターテレビ画面上に提示され、長さ 17 cm (視角 11°) の軌道上を 0.4 cycle/s で正弦波状に運動した。背景野は幅 0.1 cm の線分からなる 2.0 cm 間隔の格子パターンで、刺激輝度は 4.1 cd/m²、背景輝度は 1.3 cd/m² であった。振り子の軌道方位は 5 水準 (水平 0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 垂直 90°) であり、それらをランダムな順序で提示した。被験者は OD = 1.0 のフィルターを左眼にかけて 1 m の距離から刺激を観察し、振り子の楕円軌道の最大奥行量を 2 本の棒の間隔を調整することによって再生した。各軌道方位について 4 回の試行が行われた。成人 13 名 (男 3 名, 女 10 名) が実験に参加した。

2.2 結果と考察

各軌道方位において知覚された奥行量の平均を図 2 に示す。横軸は軌道方位、縦軸は知覚された奥行量の平均値である。各下位条件の奥行量は軌道方位 0° (水平) のときに知覚された奥行量の平均を 1.0 として比率で表されている。振り子が垂直に運動するとき (90°) でも奥行は知覚されたが、軌道方位が水平から垂直へ近づくにつれて知覚される奥行量は

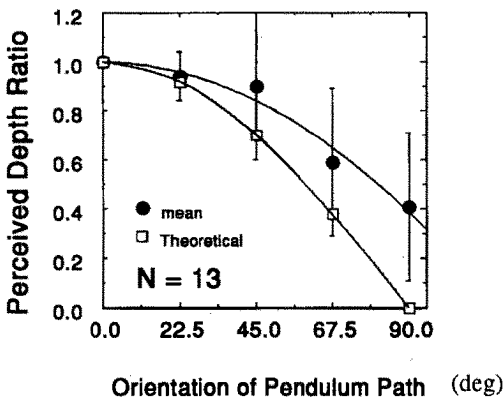


図 2 振り子の軌道方位の関数としてプロットされた平均奥行量の比率。0°条件の平均奥行量を 1.0 とした比率がプロットされている。

減少した。1 要因繰り返しの分散分析を行った結果、方位の主効果は統計的に有意であった ($F(4, 12) = 12.674, P < .01$)。

図 2 において黒丸 (●) は知覚された奥行量の平均、白四角 (□) は水平網膜像差のみが処理されたと仮定した場合に知覚される奥行量の理論値である。もしプルフリッヒ現象において視覚システムが水平網膜像差しか処理できないならば軌道方位が 90° の場合奥行は知覚されないはずであるが、本実験では奥行が知覚された。この結果は遅延仮説が妥当であるならば、垂直網膜像差が奥行に変換されたことを示唆している。また、軌道方位が水平から垂直へと近づくにつれて知覚される奥行量は減少し、0° のとき知覚された奥行量を 1 とすると 90° のときは 0.42 であった。この数値は網膜像差を見かけの奥行に変換するゲインに、水平と垂直の差があるという可能性を示唆する。実験 2 ではこの可能性を調べた。

3. 実験 2 : 実際の両眼網膜像差の方位 (水平/垂直) と知覚された奥行との関係

実際の網膜像差を持つ 2 つの振り子刺激を左右眼に別々に提示し、水平網膜像差と垂直網膜像差と知覚された奥行量の関係を調べる

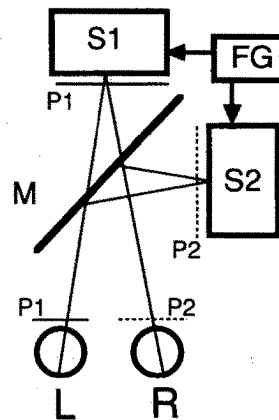


図 3 実験 2 の装置 (説明本文参照)。S1, S2 : シンクロスコープ。FG : ファンクション・ジェネレーター。M : ハーフミラー。P1, P2 : ポラロイドフィルター。

ことによって、見かけの奥行への変換ゲインの差を推定した。

3.1 方法

2台のオシロスコープを直角に向き合わせ、その間に45°の角度でハーフミラーを設置した。画面の前にはそれぞれ光を通す方向が直交する偏光板を置き、両眼の前にもその方向に一致した偏光板を置いた(図3)。刺激は幅0.1 cm長さ2 cmの垂直バーで、オシロスコープ画面上に提示され長さ8 cm(視角11°)の軌道上を0.4 cycle/sで正弦波状に運動した。刺激輝度は1.8 cd/m²、背景輝度は0.6 cd/m²であった。2つの刺激はファンクションジェネレーターで駆動され、それぞれの運動に位相差をつけた。位相差は0°, 2.5°, 5°の3水準(これらの位相差による軌道中央部での最大両眼網膜像差はそれぞれ0', 17.2', 34.4')で、水平と垂直の各軌道方位で位相差をランダムに提示した。被験者は50 cmの距離で刺激を観察し、振り子の楕円軌道の最大奥行量を再生した。実験1と同じ13名が実験に参加した。

3.2 結果と考察

結果を図4に示す。横軸は2つの刺激の最

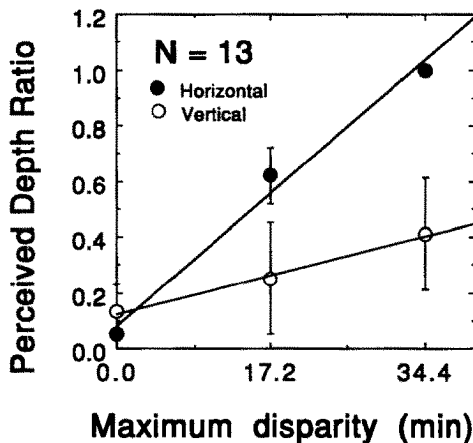


図4 実際の両眼網膜像差の関数としてプロットされた平均奥行量の比率。水平方向の34.4分(視角)条件を1.0とする。直線は、水平像差、垂直像差条件の平均値にあてはめた直線を示す。それぞれの直線の勾配の比は、水平対垂直が1:0.41であった。

大網膜像差、縦軸は知覚された奥行である。奥行量は軌道方位水平で最大網膜像差34.4'のとき知覚された奥行を1として比率で表わしている。2要因(軌道方位2条件×位相差3条件)分散分析を行ったところ、2つの主効果はいずれも統計的に有意であった(軌道方位:F(1,12)=22.005, P<.01; 位相差:F(2,12)=90.575, P<.01; 交互作用:F(2,24)=29.089, P<.01)。交互作用における単純主効果で、位相差0°のとき軌道方位の効果に有意差はなかった(F(1)=0.806, n.s.)。

水平・垂直それぞれの平均奥行量比率にあてはめた回帰直線の傾きの比は、水平を1とすると垂直は0.41であった。この比率と実験1における比率に有意差はなかった(F(1,12)=1.41, n.s.)。従って実験1における軌道方位による知覚された奥行量の違いは、水平網膜像差と垂直網膜像差のゲインの違いを反映していたといえる。

近年の研究で、見かけの奥行が生じる垂直視差(垂直網膜像差)パターンの1つに垂直大きさ視差がある⁹⁾。大きさ視差とは左右眼に提示される2枚の画像の一方がもう一方に対して水平方向、垂直方向、あるいは全体的に

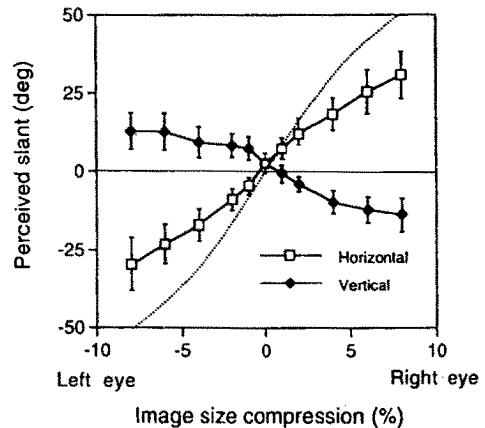


図5 Kaneko and Howard (1996) Fig.1 を改変。水平大きさ視差条件と垂直大きさ視差条件における知覚された傾き量の比は、約1:0.4~0.5の範囲であった。

圧縮されているパターンである。図5は水平・垂直大きさ視差から得られる面の傾きの程度を圧縮率の関数として調べた結果を表わしている。各圧縮率における水平大きさ視差から得られた面の平均傾きを1とすると垂直大きさ視差のそれは0.4~0.5であり、本実験の結果とほぼ一致する。このことはプルフリッヒ現象で生じる垂直網膜像差が垂直大きさ視差の一種である可能性を示唆している。

4. 結論

本研究は、振り子の軌道方位と奥行効果の関係を調べ、プルフリッヒ現象を生み出す視覚システムにおける水平と垂直の違いについて推測することが主要な目的であった。実験の結果から以下のことが明らかになった。

(1) これまで垂直方向に運動する振り子ではプルフリッヒ現象は観察されないと考えられてきたが、本研究の結果から垂直方向でもプルフリッヒ現象が起こることが分かった。

(2) 軌道方位が水平から垂直方向に近づくにつれて知覚される奥行量が減少する。これ

は水平網膜像差と垂直網膜像差のゲインが違うためであると考えられる。(3) そのゲインは水平を1とすると垂直は約0.41であった。(4) この値は、Kaneko and Howard (1996)における水平大きさ視差と垂直大きさ視差のゲインの違い(水平を1とすると垂直は0.4~0.5)にはほぼ一致する。従って、垂直方向のプルフリッヒ現象において生じる垂直網膜像差は垂直大きさ視差の一種である可能性がある。

文 献

- 1) I. P. Howard and B. J. Rogers: Binocular vision and stereopsis. Oxford University Press, Oxford, 1995.
- 2) K. Kolehmainen and E. Keskinen: Evidence for the latency-time explanation of the Pulfrich phenomenon. *Scandinavian Journal of Psychology*, 15, 320-321, 1974.
- 3) 金子寛彦: 立体視における垂直視差の役割. *VISION*, 8, 161-168, 1996.
- 4) H. Kaneko and I. P. Howard: Relative size disparities and the perception of surface inclination. *Vision Research*, 34, 2505-2517, 1996.