

蛇の回転錯視におよぼす偏心度および網膜照度の影響

久方 瑠美・村上 郁也

東京大学大学院 総合文化研究科
〒 153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1

1. はじめに

静止画が動いて見えるという錯視のひとつに、蛇の回転錯視がある¹⁾。図1に示したのは蛇の回転錯視の一例である。これは、黒、濃灰色、白、薄灰色という特定の輝度パターンを繰り返して円環状に配置することにより、静止しているはずの図がその順序の方向に回転してみえる錯視である。経験的に、蛇の回転錯視は中心視よりも周辺視でより動いてみえることが知られている¹⁾。また、この回転錯視と眼球固視微動のドリフト成分との正の相関関係が示されている²⁾。蛇の回転錯視の発生メカニズムに関するモデルはいくつか提案されており²⁻⁴⁾、その中でMurakami, Kitaoka & Ashida (2006)²⁾は、この回転錯視が時間インパルス応答関数の非対称的な二相性により発生するというモデルを提案している。しかし、彼らのモデルを含め、それら提案モデルの実験的検討が十分になされている

とはいえない³⁻⁴⁾。

そこで本研究では、Murakami, et al. (2006)²⁾の仮説を検討するため、網膜照度を減少させた条件下で蛇の回転錯視を観察した場合に錯視の見えの量がどのように変化するかを明らかにする。先行研究⁵⁻⁶⁾より、網膜照度が減少すると視覚系の時間インパルス応答関数の形状が変化することが明らかになっている。明所視では、時間インパルス応答関数は興奮、抑制の二相性を示すが、薄明視から暗所視になるにつれて抑制部の応答がなくなり単相性になる。網膜照度を変化させて錯視を観察することで、時間インパルス応答関数の形状と蛇の回転錯視の関係を検討できる。

十分な錯視量を得る刺激呈示位置を特定するために、実験1では錯視図形を呈示する偏心度を変化させ、どの網膜位置で錯視量が多くなるのかを検討する。次に実験2では、回転錯視が十分見える偏心度に図形を呈示し、網膜照度を変化させ錯視量がどのように変化するかを検討する。

2. 実験 1

2.1 目的

蛇の回転錯視と偏心度の関係を明らかにする。経験的事実からは、蛇の回転錯視は偏心度が増すにつれて多くなる。回転錯視が偏心度の関数として記述できるならば、どのくらいの偏心度で回転錯視の見えの量は飽和するのだろうか。

錯視と反対方向に錯視図形を物理的に回転させ、回転錯視が見えなくなる物理速度を恒常法にて求める。その相殺速度を錯視量と定義し、錯視量と偏心度の関係を定量的に検討する。

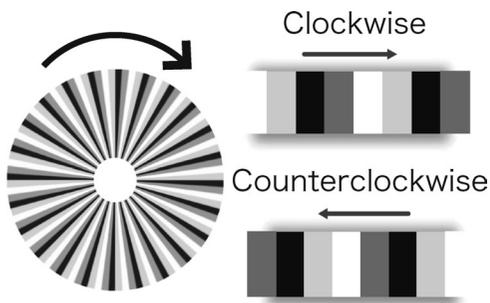


図1 蛇の回転錯視。時計回りに黒、濃灰色、白、薄灰色の順に並べると時計回りの錯視に、逆に並べると反時計回りの錯視となる。

2.2 方法

被験者 正常な視力もしくは矯正視力を持つ4名が実験に参加した。著者1名の他、実験の目的を知らない3名が被験者をつとめた。

装置 刺激は MATLAB 7.3.0 上で PsychophysicsToolbox (version3) を用いて作成した。PC (Apple Power Macintosh G5) 制御のもと、22 インチ CRT モニタ (MITSUBISHI RDF223H, refresh rate 75 Hz, 1 pixel が 0.025 deg に相当) に刺激を呈示した。観察距離は 57 cm であった。実験で使用する Look-up table はすべてガンマ補正されていた。

刺激 刺激は、外径 7 deg, 内径 1 deg (ただし, 1 deg は視角 1 度) のドーナツ状であった。黒, 濃灰色, 白, 薄灰色の輝度パターンを 1 cycle とし, 円環上に 24 cycles のパターンが配置されていた。矩形状の輝度変化パターンを $\sigma=0.032$ cycles のガウス関数で畳込み, サブピクセル解像度で運動させた。刺激は, 時計回りに回転して見える clockwise (黒, 濃灰色, 白, 薄灰色; 以下 CW) と反時計回りに回転して見える counterclockwise (薄灰色, 白, 濃灰色, 黒; 以下 CCW) の 2 種類であった。固視点の中心と刺激の中心との距離を刺激の偏心度とし, 固視点を移動させることで, 0–20 deg の中で 9 段階に変化させた。

手続き 刺激は常に左視野に 500 ms 呈示した。被験者には右眼のみで刺激を観察させた。刺激が一度呈示されたところで, 刺激が時計回りか反時計回りどちらに回って見えたかを被験者に回答させ, それを一試行とした。±0.525°/s (ただし, 1° は回転角 1 度) の間の 11 段階の速度で刺激を物理的に回転させ, 錯視を相殺する物理速度 (被験者の回答確率が 50% になる主観的等価点) を錯視量とした。ただし, 被験者 IK については偏心度が大きくなると十分な運動感度が保たれなかったため, 偏心度 10 deg 以上の条件でステップサイズを ±1.05°/s の間の 11 段階の速度に変更した。それぞれの速度で 24 試行を繰り返した。

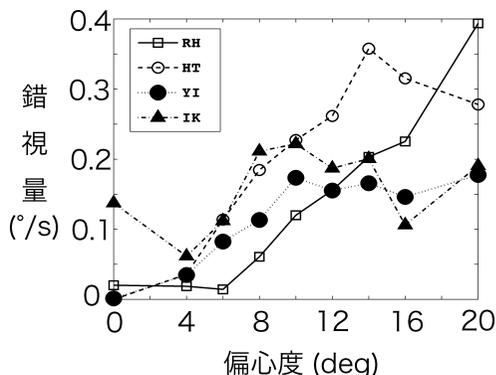


図2 実験1結果. 偏心度と蛇の回転錯視の関係. 4人の被験者のデータを重ね書きした。

2.3 結果

それぞれの被験者で, 各刺激 (CW, CCW) における相殺速度を求めた。2種類の刺激 (CW, CCW) は錯視の見えの回転方向が異なるだけである。そこで, 錯視量を2種類の刺激の相殺速度の平均とし, これを各偏心度条件ごとに求めた (図2)。その結果, どの被験者とも偏心度が大きくなるにつれて錯視量も多くなった。また, 個人差はあるものの 10–15 deg の間で錯視量が飽和する傾向にあった。被験者間の傾向をまとめると, 蛇の回転錯視は 12 deg 程度で飽和することが明らかになった。

3. 実験 2

3.1 目的

網膜照度が, 蛇の回転錯視の錯視量に及ぼす影響を検討する。実験1と同様に恒常法にて相殺速度を求め, それを錯視量とする。

3.2 方法

被験者 実験1と同じ4名が参加した。

装置 実験1と同じであった。ただし実験2では加えて, 光量調節のために ND filter (FUJIFILM 光量調整用フィルタ (ND-filter), フィルタ号数 0.3, 1.2, 1.5, 1.8, 1.6, 1.9) を用いた。また, 瞳孔径を測定するために EyeLink II (SR research, sampling rate 250 Hz) を用いた。

刺激 実験1と同じ大きさのリング状の刺激を用いた。刺激の呈示位置は, 実験1で求め

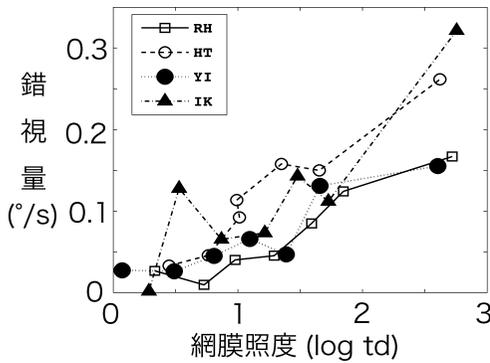


図3 実験2結果. 網膜照度と蛇の回転錯視の関係. 各被験者において網膜照度が最大の時のデータ点は, 実験1の偏心度12degで得られた錯視量をプロットしたもの.

た, 錯視量が飽和する偏心度である12degであった.

手続き 被験者は暗室にて10分間暗順応した後, 右眼眼前にND-filter(直径105.7degの円形)をかざして光量を調節した状態で刺激を観察した. ND-filterによって, 光量を 16^{-1} , 32^{-1} , 64^{-1} , 128^{-1} , 256^{-1} , 512^{-1} の6段階に減光した. 後日, 暗順応後それぞれのND-filterをかざした状態で平均輝度のCRTモニタを観察させ, 瞳孔径を測定し網膜照度を算出した.

3.3 結果

実験1と同様に, 各刺激の相殺速度を求め, 各網膜照度条件ごとに錯視量(2種類の刺激の相殺速度の平均)を求めた(図3). その結果, 網膜照度が減少するにつれて錯視量も減少することが示された. また, それぞれの被験者の心理測定関数を描き傾きを求めたところ, 絶対運動検出閾は網膜照度が低い状態でも変わらなかった. このことから, 運動感度は保たれたまま錯視量だけが減少していることが示された.

4. 考 察

実験2から, 網膜照度が減少するにつれて蛇の回転錯視が減少することが明らかになった. 明所視では視覚系の時間インパルス応答関数は二相性であり, 網膜照度が減少する(薄明視もしくは暗所視になる)にしたがってこの二相性が

なくなっていくことが知られている⁵⁻⁶⁾. Murakami, et al. (2006)²⁾で提案されたように, 蛇の回転錯視が時間インパルス応答関数の非対称な二相性により発生するものならば, 網膜照度が減少し二相性が消え去るにしたがって錯視もなくなるはずである. 本研究の結果はこの予測と一致しており, 時間インパルス応答関数の非対称性が蛇の回転錯視の発生に寄与している仮説が支持された. 本研究では, 二刺激法などにより時間インパルス応答関数を直接測定したわけではないが, Takeuchi & DeValois (1997, 2000)^{5,7)}やSwanson, et al. (1987)⁶⁾などで, 時間インパルス応答関数が単相性になるとされている値まで十分に網膜照度を下げた. また時間インパルス応答関数が単相性になる, 暗所視の運動視メカニズムでは, 高時間周波数に対する感度は低下するが, 低時間周波数に対する感度は変わらないことが先行研究により示されている⁷⁾. これは, 今回の実験で, 低網膜照度でも, 呈示刺激に対する運動感度が保たれていたことと矛盾しない. これらのことから, 明所視から暗所視にかけて変化した運動視に関わるメカニズム, つまり時間インパルス応答関数の形状が蛇の回転錯視に影響を及ぼしていると考えられる.

また, 実験1の結果から偏心度が大きくなるにつれ錯視量が増加することが実験的に示された. このことから, 蛇の回転錯視は偏心度と共変する要因と関係があると言える. 回転運動の知覚には, グローバルモーションを検出するMST野およびMT野などの活動が関与すると考えられるので⁸⁾, これらの受容野サイズなどが錯視量を規定している可能性がある. しかし, 偏心度と蛇の回転錯視の関係については今後さらに精密な検討が必要だろう.

文 献

- 1) A. Kitaoka and H. Ashida: Phenomenal characteristics of the peripheral drift illusion. *VISION*, **15**, 261-262, 2003.
- 2) I. Murakami, A. Kitaoka and H. Ashida: A

- positive correlation between fixation instability and the strength of illusory motion in a static display. *Vision Research*, **46**, 2421–2431, 2006.
- 3) B. T. Backus and I. Oruç: Illusory motion from change over time in the response to contrast and luminance. *Journal of Vision*, **5**, 1055–1069, 2005.
- 4) B. R. Conway, A. Kitaoka, A. Yazdanbakhsh, C. C. Pack and M. S. Livingstone: Neural basis for a powerful drift illusion: A motion illusion in the visual periphery. *Perception*, **28**, 617–621, 2005.
- 5) T. Takeuchi and K. K. DeValois: Motion-reversal reveals two motion mechanisms functioning in scotopic vision. *Vision Research*, **37**, 745–755, 1997.
- 6) W. H. Swanson, T. Ueno, V. C. Smith and J. Pokorny: Temporal modulation sensitivity and pulse-detection thresholds for chromatic and luminance perturbation. *Journal of Optical Society of America A*, **4**, 1992–2005, 1987.
- 7) T. Takeuchi and K. K. DeValois: Velocity discrimination in scotopic vision. *Vision Research*, **40**, 2011–2024, 2000.
- 8) H. Saito, M. Yukie, K. Tanaka, K. Hikosaka, Y. Fukada and E. Iwai: Integration of direction signals of image motion in the superior temporal sulcus of the macaque monkey. *The Journal of Neuroscience*, **6**, 145–157, 1986.