

運動錯視の知覚に関する視覚特性に基づく基礎的検討
A Fundamental Study on Perception of Motion Illusion
Based on Visual Characteristics

新井 駿[†] 井ノ上 寛人^{†‡} 鉄谷 信二[†]
Shun Arai[†] Hiroto Inoue^{†‡} Nobuji Tetsutani[†]

1. はじめに

静止画であるにも関わらず、動いて見える図形パターンが存在する。その代表例として、「蛇の回転」は、黄、白、青、黒のパターンで配色された円盤の静止画が動いているように見えるもので、関連文献[1]では、フレーザー・ウィルコックス錯視族に分類される。この運動錯視の生起メカニズムについては、現在までに、微小な眼球運動を理由とする眼球運動説[2]と、視細胞や神経系の応答特性を理由とする伝達速度説[3]の二つの仮説が提案されている。しかし、これらの仮説は、フレーザー・ウィルコックス錯視族のすべての特性を説明するには至っていない。特に、図形パターンの空間周波数と観賞時の視野角（網膜上の偏心率）が、錯覚する運動量（錯視量）にどのような影響を与えるのかは十分に検証されていないのが現状である。

著者らは、フレーザー・ウィルコックス錯視族から動きを知覚するうえで必要とされる本質的な要因の整理を目的とした実験を進めている[4]。本研究は、「蛇の回転」の空間周波数と観賞時の視野角に着目し、これらと錯視量の対応関係を明らかにするために行った実験結果について報告するものである。

2. 知覚に関する視覚特性に基づいた検討

「蛇の回転」の空間周波数と観賞時の視野角に着目し、これらの条件によって変化する錯視量を定量的に計測した実験について述べる。

2.1 実験方法

オリジナル版の「蛇の回転」[5]を、図1(a)のように単純化し、これらの図形パターンから知覚される運動量を18～58歳の男女21名に評価させた。実験参加者に提示する図形パターンは、図1(a)のように錯覚を伴う配色と、(b)のように錯覚を伴わない配色の2通りとした。錯覚を伴う図形パターンは、一般に、反時計回りに回転して知覚される。ただし、実験参加者には、提示した図形パターンが運動錯視であるとは特に教示しなかった。図1の図形パターンは、あらかじめ実回転させた状態で提示し、その初期速度は、+1 deg/sec（時計回り）と-1 deg/sec（反時計回り）の2通りとした。実験参加者には、図形パターンを静止させるように指示し、キーボードを操作することで回転する速度を調整させた。錯覚を伴う図形パターンが、錯覚している回転速度と、実回転する速度が釣り合ったときには、実験参加者には静止して見えるか、または、どちらか一方に回転しているか判断できなくなる。本研究では、この状態のときの速度を「相殺速度」と呼び、定量的に計測した錯視量とする。図

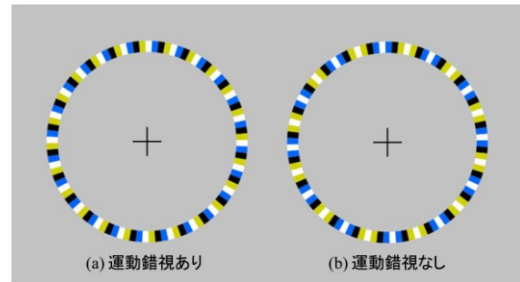


図1 単純化した「蛇の回転」

表1 実験条件の組合せ

	表示する視野上の位置 [deg]			図形パターン			
	8	4	2	左回転に錯覚		錯覚なし	
				右に物理回転	左に物理回転	右に物理回転	左に物理回転
1	○			○			
2	○				○		
3	○					○	
4	○						○
5		○		○			
6		○			○		
7		○				○	
8		○					○
9			○	○			
10			○		○		
11			○			○	
12			○				○

形パターンは24インチのLCDモニター(MITSUBISHI, RDT241WEX)で提示し、実験参加者は、モニターから1m離れた位置に固定した顎台に顔を乗せ、図形パターンの環の中央を常に見た状態で、速度の調整を行った。図形パターンの環の直径は、視野角8 deg, 4 deg, 2 degの3通りとした。配色の周期は、それぞれ48 cycle, 24 cycle, 12 cycleとし、環の直径に関わらず、その空間周波数が0.5 cycle/degとなるように対応させている。

実験参加者は、2通りの配色、2通りの初期速度、3通りの視野角の計12条件で、物理速度の調整を行った。表1に、実験条件の組合せを示す。条件1～12における相殺速度は、それぞれ $V_1 \sim V_{12}$ と表記する。

2.2 結果および考察

相殺速度（錯視量）が、実験条件によって変化したかを明らかにするために、分散分析を適用した。その結果、視野角の違いについては主効果が認められず、錯視の有無の主効果については有意性が認められた($p < 0.01$)。また、視野角と錯視の有無の相互作用についても有意性が認められた($p < 0.01$)。したがって、錯覚を伴う図形パターンの空間周波数を変えずに、視覚角（網膜上の偏心率）を変えると、相殺速度が変化することが明らかとなった。図3に、初期速度を+1 deg/sec（時計回り）とした6条件の相殺速度($V_1, V_3, V_5, V_7, V_9, V_{11}$)の平均値と標準誤差を示す。

[†] 東京電機大学 Tokyo Denki University

[‡] 日本学術振興会特別研究員 JSPS Research Fellow

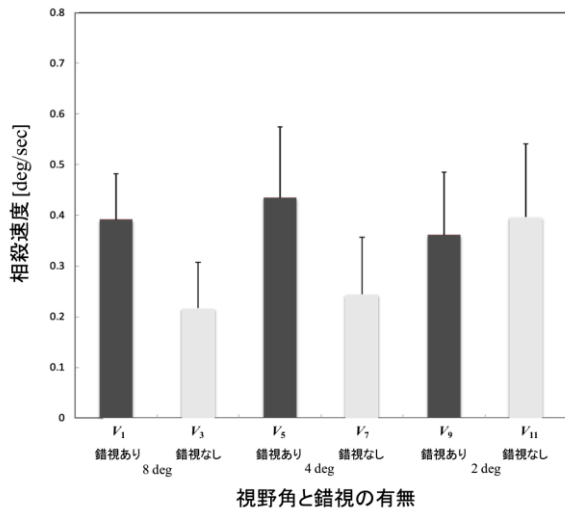


図2 視野角ごとの平均と標準偏差

図3において、黒いグラフは「錯視あり」の条件を、灰色のグラフは「錯視なし」の条件をそれぞれ表す。

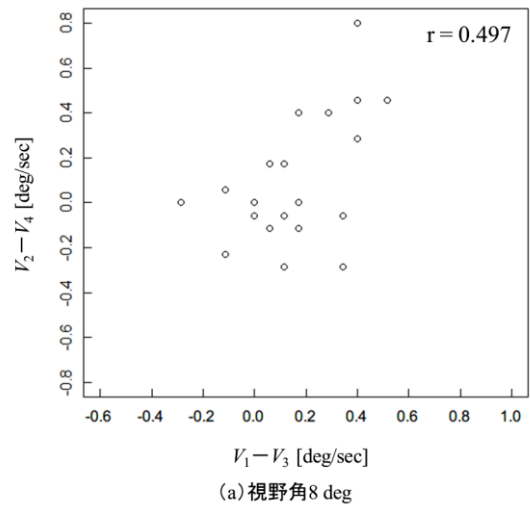
図3より、相殺速度 V_1 と V_5 の平均値は 0.4 deg/sec , V_3 と V_7 の平均値は 0.2 deg/sec 程度であり、差が生じていることが分かる。したがって、視野角が 8 deg および 4 deg のときは、錯覚の有無で、回転速度の調整に差が生じていると考えられる。一方、相殺速度 V_9 と V_{11} の平均値は、どちらも 0.35 deg/sec 程度であり、錯覚の有無によって、回転速度の調整に差が生じていない上、相殺速度 V_{11} の平均値が、「錯覚なし」の条件にも関わらず、高いことが分かる。この結果は、中心視付近では、錯視による運動に限らず、物理的な運動であっても、その速度が微小であると知覚できないことを示唆する。

そこで、 V_1-V_3 , V_2-V_4 など、相殺速度の差分を錯視の有無で取り、これらの相関係数を求めることで、回転速度の調整が安定しているか、視野角ごとに評価する。この相関係数の絶対値が大きければ、初期速度が異なっても、回転速度の調整が安定しているといえる。その結果、 V_1-V_3 と V_2-V_4 の Spearman の順位相関係数は 0.497 となったが、 V_9-V_{11} と $V_{10}-V_{12}$ の順位相関係数は -0.027 となった。したがって、回転速度の調整は、中心視付近では不安定になるといえる。

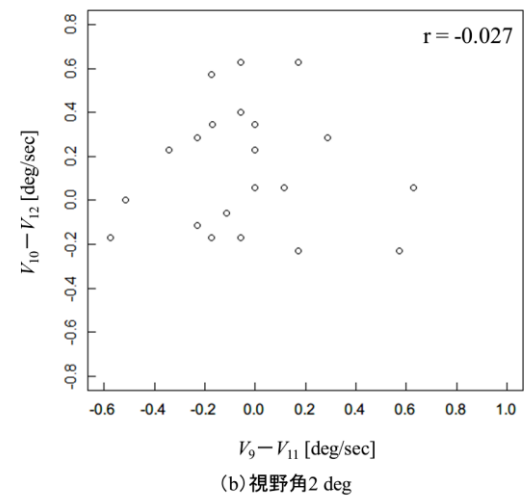
3. おわりに

本研究は、「蛇の回転」の空間周波数と観賞時の視野角に着目し、これらと錯視量の対応関係を明らかにすることを目的とした。実験の結果、(1)「蛇の回転」は、中心視付近に比べ、周辺視付近で速く回転して知覚される、(2)中心視付近では、錯視による運動に限らず、実運動であっても、その速度が微小であると知覚できない、という可能性が定量的に示された。

今後、以上の実験結果および考察を発展させ、フレーザー・ウィルコックス錯視族の生起メカニズムの仮説の一つである、微小な眼球運動を理由とする眼球運動説に着目したいと考えている。中でも、固視微動の低周波成分に基



(a) 視野角 8 deg



(b) 視野角 2 deg

図3 初期速度の方向による相殺速度の変化

づくその時間的なゆらぎが、錯視の知覚にどのような影響を与えるかを目的とした検証実験を進めていく。

謝辞

本研究の一部は、泉原保二氏の奨学寄付の支援によって行われた。

参考文献

- [1] 北岡明佳, "フレーザー・ウィルコックス錯視族の現象とモデル", 信学技法, vol.112 pp57-60, 2012
- [2] I. Murakami et al., "A positive correlation between fixation instability and the strength of illusory in a static display", Vision Research, no.46, pp2421-2431, 2006.
- [3] R. Hisakata et al., "The effects of eccentricity and retinal illuminance gradient", Vision Research, vol.48, no.19, pp1940-1948, Sep.2008.
- [4] 井ノ上寛人, 他, "「蛇の回転」の知覚に関わる要因と固視微動の個人差に関する基礎的検討", 2013 年画像電子学会第40回年次大会, R1-1, Jun.2013
- [5] 北岡明佳の錯視ページ, <http://www.psy.ritsumeai.ac.jp/~akitaka/>