

ディスクの回転による触覚の錯覚現象について

—Cormack のコイン回転錯触の再考—

今 井 章 Y. ロセッティ P. レヴォル

キーワード：触錯，ディスク回転，コイン回転

AN EXAMINATION OF HAPTIC ILLUSION BY DISK-ROTATION : CORMACK'S COIN-ROTATING HAPTIC ILLUSION REVISITED

Akira IMAI¹ Yves ROSSETTI^{2,3} Patrice REVOL³

¹ Department of Psychology, Faculty of Arts, Shinshu University

² Medical School, Université Claude Bernard Lyon

³ Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (CRNL)

Key words : haptic illusion, disk-rotation, coin-rotation

問 題

視覚における錯覚を錯視というが、錯覚現象は視覚のみではなく聴覚や触覚についても知られている。特に触感覚においては、いわゆる幾何学的錯視図形などを3次元的に構成した触覚刺激が、視覚と同様な触覚的錯覚（以下、触錯と記す）を引き起こすことが、これまで多数の研究において報告されている（Ballesteros, Mayas, Manuel-Reales, & Heller, 2012 ; Casla, Blanco, & Travieso, 1999 ; Chan, 1995 ; Frisby & Davies, 1971 ; Gallace, Auvray, & Spence, 2007 ; Gentaz, Camos, Hatwell, & Annie-Yvonne, 2004 ; Gentaz & Hatwell, 2004 ; Heller, McCarthy, Schultz, Greene, Shanley, Clark, Skoczylas, & Prociuk, 2005 ; Landwehr, 2014 ; Landwehr, 2015 ; Mancini, Bricolo, & Vallar, 2010 ; Millar & Al-Attar, 2002 ; Watson & French, 1966 ; Wong, 1977）。このことは、視覚系における錯覚を成立させるメカニズムが、触覚系と共通した仕組みを持っていることを示唆している点で注目される（Day, 1990 ; Wong, 1975）。したがって、触錯を検討することによって、モダリティを超えて錯覚を生じさせるメカニズムを解明する手がかりが得られると考えられる。

このような触錯の中でも、1973年にCormackによって報告されたコインを両手で回転させることによって生ずる錯覚は、身近な刺激を単純に回転させるだけで知覚することのできる興味深い現象である。Cormack（1973）は、ディスク（コイン）を非利き手の親指と人差し指で保持し、利き手でそのディスクを保持軸に対して垂直な方向に回し続けると、やがて

ディスクを回している方の手に感じられるディスクの直径が伸びて長く感じられるようになることを報告した。Cormack はこの現象の錯覚量を、ディスク直径の縦横比として知覚的マッチング課題で測定したところ、錯覚は回転始めの30秒間で急速に増強し、60秒間以内では最大点には達しないことを示した。さらに、その錯覚量はディスクの大きさが増加する、あるいは回転速度が増加するとそれに応じて増大すること、また、支持手の圧力を変化させても錯覚量には影響しないことなどを見いだした。Cormack は、この錯覚量の発達の様相が、図形残効の崩壊過程 (Hammer, 1949) や運動感覚性残効の減少過程 (Singer & Day, 1965) と類似していることから、支持手と回転手との順応効果に関係する2つの仮説を提出した。すなわち、(1) 回転の軸となるディスクを持つ親指と人差し指は、常に硬貨の端に圧迫されてねじこまれるため、その動きに対して順応が生じその結果、曲線状の硬貨の端が徐々に平たく感じられるようになる。しかし、回転させる指はディスクの端に触れる時間が短く順応は余り生じず、結果として硬貨の縦幅が縮小して感じられる。一方、(2) 硬貨を回転させる指は、ディスクを回転させるためにその直径軸の長さ分より若干、幅広く指を広げ、その後ディスクの回転に伴いディスクの厚さ幅へ指の広がりが増小する、という指の開閉運動を行う。この繰り返しの運動の結果、ディスクを回転させる指は平均してディスクの半径ほどの長さに順応する。しかし、ディスクを支持している指は、常にディスク直径の長さ分にはしか順応していない。そのため、両手の指の順応効果に差異が生じ、その結果としてディスクの縦横比が変化する、というものである。Cormack は、この2つの仮説を検証しようとさらに実験を行っているが、最終的には両手の順応が関わっていることを示唆したものの、どちらの手の順応効果がより主因となるのかは明らかにできていない。

渡辺 (1980, 1995)、および Watanabe (1998) は、Cormack (1973) が報告したこの触錯について一連の研究で検討した。渡辺 (1980) は、3つの実験においてディスクの直径と厚さの効果、マッチング刺激のサイズ、および、ディスクが指に与える順応の効果を調べた。その結果、ディスクの直径の増大は錯覚量を増大させる一方、厚さの増加は錯覚量を減ずること、マッチング刺激のサイズは錯覚量には大きな影響を与えないこと、など Cormack の実験結果とはほぼ同様な効果を見いだした。また、渡辺 (1995) はこの錯覚におよぼす順応過程の時間的効果を検討し、指の順応時間の長短が錯覚量に影響を与えることを示した。さらに、Watanabe (1998) では、テスト試行前の順応条件の違いが錯覚量に及ぼす効果を検討した。両手の順応をする条件、支持手の順応のみを経験する条件、回転手の順応のみを経験する条件、および順応のない統制条件とを比較したところ、支持手の順応効果が回転手の効果より大きかった。しかし、支持手の順応効果も統制条件に比較して増大していたことから、Watanabe は、この錯覚の主因は支持手による順応と考えられるものの、回転手の効果もあることを認めている。

以上のように、ディスク回転による触錯は、おそらく再現性があると考えられるものの、Cormack (1973) の報告を追試した研究が渡辺以外には認められておらず、したがって組織的な検討が十分になされているとはいえない。

そこで本研究では、この Cormack (1973) が報告したディスク回転による触錯が、容易に再現できる現象として認められるかどうかを改めて検討することにした。その際、Cormack では、実際に日常的に使用されているドルやペニーなどのコインが使用されていた。そこで

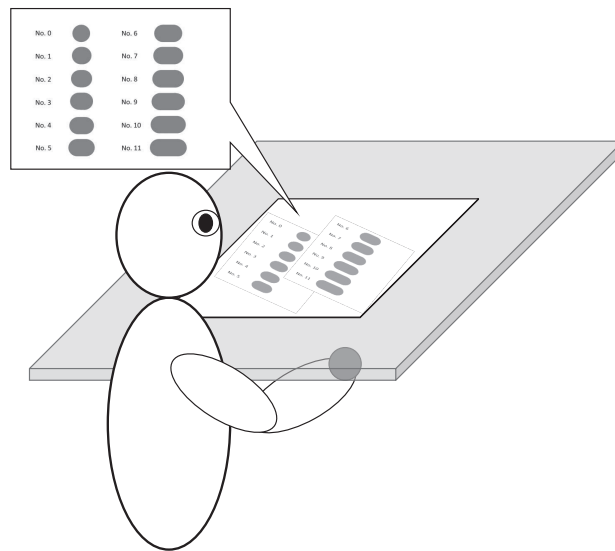


Figure 1 Schematic illustration of experimental situation. Participant sits the chair in front of the desk of which top is tilted 60 degrees. On the top of the desk, there is a paper sheet with sample stimuli for matching to the felt-size of disk stimulus. The participant puts his or her hands beneath the desk with holding a disk, and rotates it for 60 seconds.

本研究では、むしろ、実験のために作成されたディスクと、日常的には使用されていないコインを織り交ぜて調べることにした。そして、Cormack の報告したディスク回転による触錯が頑健な現象かどうかを確認することを目的とした。

実 験

方 法

実験参加者 矯正を含め視力、および色覚が健常な大学院生、および成人 8 名（男性 4 名、平均 35.3 歳）が実験に参加した。なお、いずれの参加者もこの錯覚についての知識は有しておらず、このような実験に参加することは初めてであった。

刺激 回転させる刺激として 5 種類のディスクを用意した。それらは直径 24 mm, 30 mm, 39 mm, 47 mm で厚さが 3 mm のプラスチック製ディスクと、500 円硬貨（直径 26.5 mm, 厚さ 1.81 mm）であった。この 500 円硬貨は、実験参加者（すべてヨーロッパ系白人）にとって使用経験の無い刺激として採用した。また、この錯覚を最初に体験してもらうための練習用刺激として、2 ユーロ硬貨（直径 18.75 mm）を使用した。錯覚量を評定させるために、A4 サイズの用紙に 30 mm の真円、および真円の直径軸が 3 mm ずつ水平方向に増えていく横長の図形を 11 種類、描きそれらに順に 0 番から 11 番まで割り付けた評定用紙を作成し、参加者の目の前の机の上に貼り付けた（Figure 1）。

手続 参加者に以下のような教示をして課題を行わせた。まず、参加者にディスクを両手を使って回転させることによる錯覚について説明し、実際に 2 ユーロ硬貨を用いてその錯覚を 30 秒ほどの回転時間で確認させた。その後、5 種類のディスクをランダムな順に渡し、実

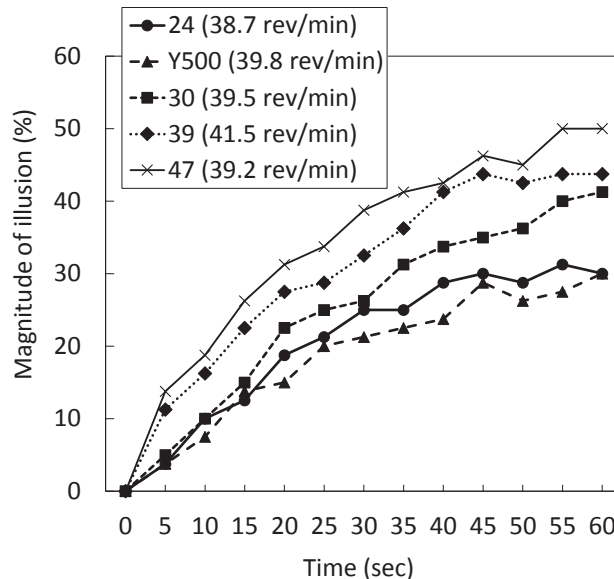


Figure 2 Growth of the illusion of disk diameter for five stimuli. Magnitude of the illusion is shown by the percentage of the increased length of disk diameter. 24, disk of diameter 24 mm ; 30, 30 mm ; 39, 39 mm ; 47, 47 mm. Y500 is a Japanese coin of 500 Yen. Note number in parentheses of each disk size is a mean rotation rate for the disk.

験者の開始合図と同時にディスクを非利き手で保持し、利き手でディスクを回転させた。その際、参加者は机の下に手を置き、手元が見えないようにして回転を行った。参加者は自分のペースでディスクを回転させながら、5秒ごとに鳴らされる電子メトロノーム音に合わせて、両手で感じられるディスクのサイズの変化に最も近い図形を、目の前のマッチング用評定用紙の図中から選んでその番号を口頭で返答した。回転は1分間続けられ、したがって1試行で12回、感じられたディスクの大きさの変化を声にして回答した。各ディスクはいずれも1試行ずつ行わせた。

結果と考察

錯覚量は、マッチング用評定用紙につけられた0から11までの番号を10倍したものが、基準の真円直径に対する拡大率(%)に相当するため、それをそのまま錯覚量とした。Figure 2には、5秒ごとに報告させた平均錯覚量の変動を示してある。

Figure 2に見られるように、錯覚量は時間の経過とともに増大していること、またディスクの直径が大きくなるほど増強していることが認められる。ディスク直径(5)×時間(12)の分散分析を行ったところ、ディスク直径の主効果 ($F(4, 28) = 5.00, p < .005$)、および時間の主効果 ($F(11, 77) = 10.25, p < .001$) が有意であった。多重比較の結果、最も大きい47 mmのディスクは最も小さい24 mmのディスク、および500円硬貨よりも有意に錯覚量が大きかった ($p < .005$)。また、20秒後以降の錯覚量はいずれも5秒後の錯覚量より有意に増大していたことが示された ($p < .005$)。

本研究では、Cormack (1973) が報告した、ディスクを両手で回転させることによる触錯を確認し、回転ディスクによる錯覚が頑健な現象かどうかを確認するとともに、ディスクの直径が錯覚量に及ぼす効果、および、日常的には使用経験のないコインを用いた場合の錯覚量の変化を検討した。

その結果、ディスクの直径が増えるとともに錯覚量が大きくなることが確認された。また、使用経験のない熟知性の低いコイン（500円硬貨）では、その半径長から期待された錯覚量が得られず、むしろより直径の小さいディスクよりも錯覚量が少なかった。

Cormack (1973) では、実際にアメリカで使用されているペニーやクォーター、1ドル硬貨などが使用されていた。その錯覚量は本研究で得られた錯覚量より大きく、また錯覚量の発達も特に最初の30秒での増加率が大きかった。一方、本研究での錯覚量は、Cormack が使用した硬貨のサイズを考慮しても、初期の30秒の増加率は低かった。また、渡辺 (1980, 1995) や Watanabe (1998) における錯覚量も、Cormack ほどの錯覚量が得られていない。渡辺は実験用に用意したディスクを使用していたことから、熟知性の高いディスクの使用は、この錯覚量を増大させることを示唆している。

本研究では、ディスクを両手を使って一定方向に回転させるという、日常的に容易な動作において生ずる触覚における錯覚が、実際に頑健に出現するかどうかを調べてみた。その結果、8名の実験参加者は、いずれもこの錯覚をこれまで経験したことがなかったが、実験場面においてこの錯覚を確認することが可能であった。また、本研究の錯覚量そのものは Cormack (1973) での報告に比較するとやや低減していたが、錯覚量の増大傾向については非常によく類似した結果が得られた。

Cormack (1973) は、この触錯については両手相互からの影響を分離できなかった。ディスクを両手で回すという動作が必要なこの触錯においては、どうしても両手を使用する必要がありそうではあるが、片方の手だけでディスクを回しながら、もう一方の手で回転するディスクを保持する動作ができる器具を工夫することで、両手の触錯に及ぼす効果を分離することができると考えられる。この着想には、Cormack はもちろん、渡辺 (1980, 1995) や Watanabe (1998) でも至っておらず今後、実験器具を工夫しての検討が必要と考えられる。

付 記

本研究は、第1著者が2015年10月から半年間のサバティカル研修中に、フランスのリヨン神経科学研究センターで、ロセッティ教授とその研究チームとの共同研究として行ったものである。本研究で用いた刺激作成について、V. Frédéric 技師に謝意を表する。

引用文献

- Ballesteros, S., Mayas, J., Manuel Reales, J., & Heller, M. (2012). The effect of age on the haptic horizontal-vertical curvature illusion with raised-line shapes. *Developmental Neuropsychology*, **37**, 653–667.
- Casla, M., Blanco, F., & Travieso, D. (1999). Haptic perception of geometric illusions by persons who are totally congenitally blind. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, **93**, 583–588.

- Chan, T. C. (1995). The effect of density and diameter on haptic perception of rod length. *Perception and Psychophysics*, **57**, 778–786.
- Cormack, R. H. (1973). Haptic illusion : Apparent elongation of a disk rotated between the fingers. *Science*, **179**, 590–592.
- Day, R. H. (1990). The Bourdon illusion in haptic space. *Perception and Psychophysics*, **47**, 400–404.
- Frisby, J. P. & Davies, I. R. (1971). Is the haptic Müller-Lyer a visual phenomenon? *Nature*, **231**, 463–465.
- Gallace, A., M. Auvray, M., & Spence, C. (2007). The modulation of haptic line bisection by a visual illusion and optokinetic stimulation. *Perception*, **36**, 1003–1018.
- Gentaz, E., Camos, V., Hatwell, Y., & Annie-Yvonne, J. (2004). The visual and the haptic Müller-Lyer illusions : Correlation study. *Current Psychology Letters*, **13**, 2–7.
- Gentaz, E. & Hatwell, Y. (2004). Geometrical haptic illusions : The role of exploration in the Müller-Lyer, vertical-horizontal, and Delboeuf illusions. *Psychonomic Bulletin & Review*, **11**, 31–40.
- Hammer, E. R. (1949). Temporal factors in figural after-effects. *The American Journal of Psychology*, **62**, 337–354.
- Heller, M. A., McCarthy, M., Schultz, J., Greene, J., Shanley, M., Clark, A., Skoczylas, S., & Prociuk, J. (2005). The influence of exploration mode, orientation, and configuration on the haptic Müller-Lyer illusion. *Perception*, **34**, 1475–1500.
- Landwehr, K. (2014). Visual and visually mediated haptic illusions with Titchener's \perp . *Attention, Perception and Psychophysics*, **76**, 1151–1159.
- Landwehr, K. (2015). Titchener's \perp dissected. *Attention, Perception and Psychophysics*, **77**, 2145–2152.
- Mancini, F., Bricolo, E., & Vallar, G. (2010). Multisensory integration in the Müller-Lyer illusion : From vision to haptics. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **63**, 818–830.
- Millar, S. & Al-Attar, Z. (2002). The Müller-Lyer illusion in touch and vision : Implications for multisensory processes. *Perception and Psychophysics*, **64**, 353–365.
- Singer, G., U. & Day, R. H. (1965). Temporal determinants of a kinesthetic aftereffect. *Journal of Experimental Psychology*, **69**, 343–348.
- 渡辺功 (1980). 回転円盤の触的錯覚に及ぼす要因の分析 心理学研究, **51**, 45–48.
- 渡辺功 (1995). 回転円盤の触的錯覚に及ぼす時間要因の分析 心理学研究, **66**, 199–204.
- Watanabe, I. (1998). What determines tactile illusion of a rotated disk. *Psychologia : An International Journal of Psychological Sciences*, **41**, 183–188.
- Watson, A. & French, C. (1966). Müller-Lyer haptic illusion and a confusion theory explanation. *Nature*, **209**, 942–942.
- Wong, T. S. (1975). The respective role of limb and eye movements in the haptic and visual Müller-Lyer illusion. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **27**, 659–666.
- Wong, T. S. (1977). Dynamic properties of radial and tangential movements as determinants of the haptic horizontal-vertical illusion with an “L” figure. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, **3**, 151–164.

AN EXAMINATION OF HAPTIC ILLUSION BY DISK-ROTATION : CORMACK'S COIN-ROTATING HAPTIC ILLUSION REVISITED

Akira IMAI¹ Yves ROSSETTI^{2,3} Patrice REVOL³

¹ Department of Psychology, Faculty of Arts, Shinshu University

² Medical School, Université Claude Bernard Lyon

³ Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (CRNL)

ABSTRACT

Cormack (1973) reported that a disk or coin turned end over end between thumb and forefinger felt longer to the turning hand, and the magnitude of this illusion increased rapidly for the first 30 seconds but did not become asymptotic within 60 seconds. We investigated this illusion using unfamiliar and larger size of disks than those used in Cormack. Eight naive participants examined five disks of different diameter, and rotated it for one minute. The magnitude of the illusion grew gradually for the 60 seconds, and it was larger for the larger size of disk than the smaller one. The illusion felt by turning the disk would be a robust phenomenon, and possible mechanisms of this illusion was discussed.

Key words : haptic illusion, disk-rotation, coin-rotation

(2016年10月31日受理, 12月13日掲載承認)