

回転円盤の触的錯覚に及ぼす要因の分析

九州芸術工科大学 渡 辺 功¹

AN ANALYSIS OF THE FACTORS AFFECTING HAPTIC ILLUSION OF A ROTATED DISK

ISAO WATANABE

Kyushu Institute of Design

Three experiments were performed to examine the factors affecting Cormack's haptic illusion that a disk held between the thumb and forefinger of one hand and turned by the fingers of the other hand feels longer in the direction of the turning hand. The illusion magnitude increased with the disk size and was affected by the size of the comparison figures for judging the illusion magnitude. The illusion magnitude decreased for modified stimulus objects which function as disks only for the turning hand, but illusions in other objects which function as disks only for the holding hand was almost equal to that in the perfect disk. This illusion was concluded to be ascribed to the effect of the holding hand rather than that of the turning hand.

目を閉じて硬貨を左手の親指と人さし指でささえ、これを軸にして、右手の親指で押し人さし指で引くという回転運動をくり返す時、この硬貨は回転させる指の方向に伸びて楕円形に感じられて来る。その錯覚量は最初の30秒間に急増し、以後さらに30秒間漸増する。また、この錯覚は回転運動を停止したり硬貨を見つめた時には完全に消失する。この現象は Cormack (1972) が初めて紹介したものである。

彼はこの現象の一般性を確かめた後、硬貨の直径が大きいほど、また、硬貨を回転させる速度が大きいほど錯覚量が大きくなることを明らかにした。さらに彼は、回転持続時間に伴う錯覚量の変動曲線が Hammer (1949) の視覚的な図形残効および Singer & Day (1965) の運

動感覚的な図形残効のそれに類似していることから、同様の順応過程がこの錯覚に含まれるものと考え、次の2つの仮説を立てた。仮説 1. 回転の軸となる、硬貨を持つ指が、いつも硬貨の端に圧迫され、ねじこまれることに順応し、その結果、硬貨の曲線状の端はこの指にとって平たく感じられるようになり、そのため硬貨の縦幅が縮小して感じられる。これに対し、硬貨を回転させる指は、硬貨の端に触れることはごく短時間であるので、硬貨の端が平たく感じられたり、その横幅が縮小して感じられることは少ない。これらの感じられ方の違いが縦と横の幅の差として経験されるのである。仮説 2. 回転の軸となる親指と人さし指はいつもほぼ硬貨の直径の幅だけ間隔を保っている。これに対し、回転させる親指と人さし指は、その間隔が硬貨の直径の幅とその厚さの間で変化することとなり、結局、平均して直径の幅より短い長さに対して順応する。これらの違いが縦と横の幅の差として経験されるのである。

以上の Cormack の2つの仮説は、結局、この錯覚の主因は硬貨を持つ指にあるのか、それともそれを回転させる指にあるのかということである。彼はこのいずれかの仮説を選択するための実験を行なったが、明確な結論を得ていない。これらの仮説によると、円盤の厚さを増すことは両手の効果を減ずることが考えられる。にもかかわらず、彼の研究では、実在の硬貨が使用されたため、この点が十分コントロールされていない。

したがって、筆者の実験 I においては、円盤の直径と厚さをコントロールした実験を行なう。また、実験 I お

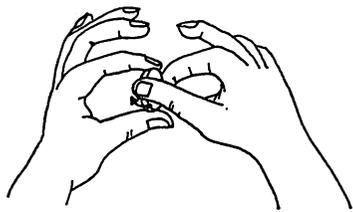


FIG. 1. Illustration of hands holding and turning a disk.

¹ 本研究は昭和 50 年度卒業論文作成のために塚本厚子の行なった実験のデータに基づいて著者がまとめ直したものである。原稿作成途中において御批評下さった九州大学文学部船津孝行教授に感謝致します。

よび Cormack の実験においては、比較図形の大きさを1種類にしたまま直径の効果を検討した。そのため、被験者が形を無視して、感じられる横幅の長さの伸びだけに基づいて判断したことが直径の効果として表われた可能性がある。したがって、実験Ⅱにおいては、円盤の直径の大きさに対応する比較図形を準備した上で、直径の効果を吟味する。実験Ⅲにおいては、新しい工夫による刺激材料を用いて Cormack の2つの仮説の適切性を吟味する。

本研究は、以上の実験結果に基づいて Cormack の触的錯覚の主因をつきとめ、その過程をさらに明らかにすることを目的とする。

実 験 I

方 法

装置 テープレコーダー。次のように作成された比較図形。すなわち、直径3 cmの円の他に、縦軸を3 cmに固定したまま横軸のみを3 mm ステップで3.3 cmから6.6 cmまで変化させることにより作られる12個の楕円を、縦27 cm横38.1 cmの画用紙に順に書き並べた。それらの楕円の両端はいつも直径3 cmの半円であった。次に、これらに、1の円から最も横長の13の楕円に到るまで順に番号を書き入れた。さらに、この用紙を縦30 cm横42 cmの板に張り付けた。

刺激材料 練習試行用の円盤として、直径26 mm厚さ2 mm重さ8.8 gの円盤と、本試行用の円盤として、直径20 mm厚さ2 mm重さ4.8 gのもの、直径32 mm厚さ2 mm重さ13 gのもの、直径32 mm厚さ4.5 mm重さ27 gのもの、の計4種類の

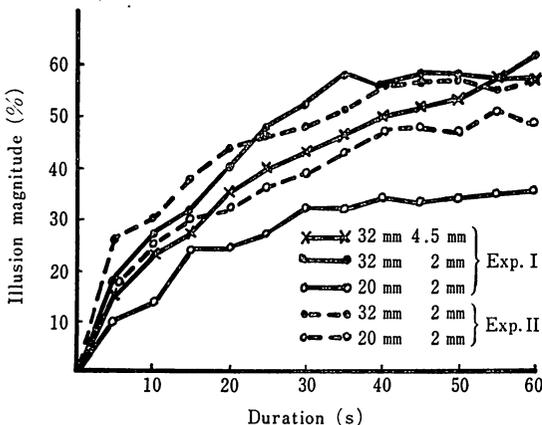


FIG. 2. The growth curve of the illusion magnitude during 60 s for each disk size and thickness (Exp. I) and for each disk size with the size of the comparison figures corresponded to the disk size (Exp. II).

しんちゅう製の円盤。他に、5秒に1回ずつの信号音を録音したテープ。

手続 机上を蛍光灯スタンドにて照明した防音暗室内に、被験者を、机を挿んで実験者と相対して着席させ、まず練習用の円盤を渡し、Cormackの錯覚を経験させた。すなわち、両手を机上に置いたまま両手を使って円盤を30秒間回転させた。その間に実験者は被験者の回転速度を記録した。

次に、比較図形を被験者から見て垂直から30°後方に傾けて机上に設置した。それから、開眼のまま、円盤も比較図形も見ないで、指に感じる形だけに注意して、先の練習の時とほぼ同じ等速度で円盤を1分間回転させるよう被験者に教示した。また、回転途中5秒ごとにテープレコーダーから信号音が聞こえるたびに、回転運動を続行したまま、その直前に指で感じた円盤の形に最も近いものを比較図形の中から選び、その番号を口頭報告するようにも教示した。それから、まず練習用の円盤を使って1分間の練習をさせ、2分後に3つの本試行用の円盤を使って本試行を求めた。3つの円盤の試行順序による効果は被験者間でカウンターバランスした。各試行間には2分間の休憩を置いた。

被験者 本錯覚に関して未経験な、男性5名女性7名の大学生。

結 果

錯覚量は、被験者の選んだ比較図形の数値から1を引き、それを10倍したもの、すなわち縦軸に比べて横軸方向に伸びて感じられた比率をパーセント表示したものをを用いた。以下3つの実験において同様の仕方で錯覚量を算出した。

各被験者の回転速度の平均は毎分34.3 ($SD=3.4$)回転であった。それぞれの直径、厚さの円盤における、60秒間の錯覚量の変動の様子をFig. 2に示す。本実験においても、錯覚量は最初の30秒間に急増し、以後さらに30秒の間漸増していることが分る。また、どの回転持続時間を見ても円盤の直径の大きい方の錯覚量が、小さい方より大きいことが分る。また、円盤の厚さの大きい方が幾分錯覚量が大きいことも分る。

直径の大きさによる効果を、直径20 mm厚さ2 mmと直径32 mm厚さ2 mmの円盤の最大錯覚量を t 検定によって比べると、直径の大きい方の錯覚量が、小さい方より有意に大きいことが分った ($t_{(11)}=4.55, p < .001$)。円盤の厚さによる効果を、直径32 mm厚さ2 mmの円盤と直径32 mm厚さ4.5 mmの円盤の最大錯覚量を t 検定によって比べると、厚さの大きい方の錯覚量が、小さい方より有意に小さい傾向が見られた ($t_{(11)}=1.39, p < .10$)。

TABLE 1

The maximum illusion magnitudes of four kinds of stimulus object: A (a perfect disk), B (a disk with the effect of the turning hand being less than A), C (a disk with the effect of the holding hand being less than A), D (a disk with smooth and flattened parts for the holding hand)

Disk	A	B	C	D
Illusion magnitude (%)	59	58	38	30

実験 II

方法

装置 テープレコーダー。3種類の比較図形。すなわち、縦軸を 20 mm, 26 mm, 32 mm の3種とし、それぞれ 2 mm, 2.6 mm, 3.2 mm のステップで長くなっていく楕円と円を実験 I と同様の仕方で画用紙に書き並べたもの、の3種類。

刺激材料 実験 I で使用した厚さ 2 mm の円盤の内から、練習試行用として直径 26 mm のもの、本試行用として直径 20 mm のものと直径 32 mm のもの、の3種類の円盤。他に、5秒に1回ずつの信号音を録音したテープ。

手続 直径 32 mm 厚さ 4.5 mm の円盤を除いたこと、直径の大きさに対応した比較図形をそのつど使い分けたことを除いては、ほぼ実験 I と同じである。

被験者 本錯覚に関して未経験な、男性 5 名女性 7 名の大学生。

結果

それぞれの直径における、60 秒間の錯覚量の変動の様子を Fig. 2 に示す。図より、実験 I に比べて直径の大きさによる錯覚量の差が縮小したのが分る。直径の大きさによる最大錯覚量の差を被験者ごとに求め、実験 I と

実験 II の間で t 検定により比べると有意であった ($t_{(22)} = 1.75, p < .05$)。しかし、図より明らかなように、本実験においても、依然として直径の大きい円盤の錯覚量が、小さい方より有意に大きかった ($t_{(11)} = 1.77, p < .05$)。

実験 III

本実験では、この錯覚を説明するため Cormack が提出した2つの仮説の適切性を決定するために、次の4種類の刺激材料を用いた実験を試みた；A——基準の錯覚量を獲得するための完全な円盤；B——回転させる手の効果だけをAより少なくしたもの；C——回転の軸となる手の効果だけをAより少なくしたもの；D——回転の軸となる手の効果だけをCよりさらに少なくしたもの。

これらの刺激材料をもとに次のような推測をした。推測 1. Cormack の仮説 1 が正しいなら、つまり円盤を持つ手がこの錯覚の主因であるならば、錯覚量は、A と B でほぼ等しく、さらに C, D と順に小さくなるであろう。推測 2. Cormack の仮説 2 が正しいなら、つまり円盤を回転させる手が主因であるならば、錯覚量は、A, C, D でほぼ等しく、B だけがこれより小さくなるであろう。推測 3. 両手の交互作用が主因であるならば、錯覚量は、A だけが B, C, D より特に大きいであろう。

方法

装置 実験 I で使用した比較図形。

刺激材料 練習試行用として直径 32 mm 厚さ 5 mm 重さ 30 g の円盤。本試行用として次の4種類のものを使用した。すなわち、Aは直径 37 mm 厚さ 5 mm 重さ 48 g の完全な円盤である。Bは、持つ手にとってはAとまったく同じ円盤であるが回転させる手にとっては厚さ 15 mm の円盤となるような重さ 112 g のものである。Cは、回転させる手にとってはAとまったく同じ円盤であるが持つ手にとっては厚さ 15 mm の円盤となるような重さ 68 g のものである。Dは、回転させる手にとってはAとまったく同じ円盤であるが、持つ手にとってはまったく滑らかな平面となるような 65 g のものである。以上のいずれの刺激もしんちゅう製である。それらは Fig. 3 に図示される通りである。

手続 まず被験者に練習用の円盤を使って 30 秒間回転させた。次に、目を閉じて1分間円盤を回転させるように、そして回転途中 15 秒ごとに与えられる“はい”という合図のたびに目を開けて、直前に指に感じられた縦幅と横幅の比率に最も近いものを比較図形の中から選び、その番号を口頭報告するよう被験者に教示した。それから練習用の円盤を使って 30 秒間の練習をさせ、2 分後に 4 回の本試行を求めた。4 つの刺激材料の試行順序による効果は被験者間でカウンターバランスした。各

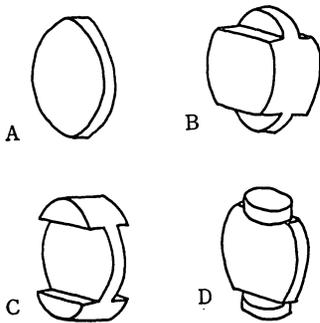


FIG. 3. Illustration of four kinds of stimulus object used in Exp. III.

試行間に2分間の休憩を置いた。

被験者 本錯覚実験をすでに経験したことのある者6名を含む、男性10名女性2名の大学生。

結 果

Table 1 に4つの刺激材料の最大錯覚量を示す。表より、A, B の錯覚量がほぼ等しく、これらより C, D のそれはさらに小さく、それよりさらに D の錯覚量は小さいことが分る。これらの最大錯覚量を用いて分散分析を試みたところ有意差が見られた ($F_{(3,33)}=10.23, p<.001$)。次にこれらの対の間で t 検定を試みたところ、A, B の錯覚量は C のそれより、それぞれ有意に ($t_{(11)}=3.12, p<.01, t_{(11)}=2.79, p<.02$) 大きいことが分った。また、D の錯覚量は C のそれより有意に小さい傾向が見られた ($t_{(11)}=1.89, p<.10$)。

しかし、ここで、回転させる指に感じられる円盤の直径が円盤の厚さによって異なるという問題がある。すなわち、A, C, D の場合、厚さの 5 mm を考慮して最大直径は 37.34 mm、B の場合、厚さの 15 mm を考慮して 39.93 mm となる。つまり B はもともと A, C, D より最大幅が 1.07 倍あることになる。したがって、もともと縦幅の 1.07 倍の長さの横幅を基準として、回転持続時間に伴って横幅方向に伸びて感じられるとすれば、その錯覚量を 1.07 で除したものがデータとしてより適切であると考えられる。そこで、B の最大錯覚量を被験者ごとに 1.07 で除した数値を用いて、分散分析および t 検定を試みたが、上記の分析結果とほとんど変わらなかった。A, B, C, D の4つの刺激材料の最大幅を等しくしたものをを用いた椿 (1977) の結果も本実験のものと類似している。以上の結果は推測の 1 を支持した。

考 察

円盤の直径の大きいほど錯覚量大きいことが分った。これには比較図形の大きさによる効果も寄与していることが確かめられたが、それでも依然として直径の大きさによる効果は消失しなかった。

円盤の厚さが増すと錯覚量は減少する傾向が見られた。これは Cormack の2つの仮説から当然予測できることである。しかし、この結果だけでは、どちらの手の効果を減じたために錯覚量のそのような減少がもたらさ

れたか明らかではない。

そこで、どちらか一方の手に対する厚さだけをさらに増すことにより、両手の効果を別々に減じるような刺激材料を用いた実験から次のことが分った。すなわち、円盤を回転させる手の効果を減じて、それを持つ手の効果がそのままであれば、錯覚量は減少しなかった。逆に、円盤を回転させる手の効果はそのまま、それを持つ手の効果を減じると錯覚量は減少した。これらの事実は、円盤を持つ指がこの錯覚の主因であることを示すと考えられる。

次に、円盤を持つ指に触れる円盤の端を滑らかな平板にすると、単に厚さを増すだけの場合よりさらに錯覚量が減じた。しかし、それでも錯覚量は0とならなかった。この刺激材料が指にねじこまれることなく単に圧迫されるものであることを考慮すると、この錯覚の生起の要因は次のように考えられる。すなわち、Cormack の触的錯覚は、円盤を保持する指が、その回転に伴ってその端がねじこまれたり、あるいは圧迫されることによって生起するものと考えられる。これは Cormack の仮説 1 をほぼ支持するものである。また、直径の大きさによる効果は次のように説明されよう。すなわち、円盤の直径が大きくなるとその端が指にねじこまれる部分がより大きくなり、これに伴って錯覚量が大きくなるのではないかと考えられる。

引 用 文 献

- Cormack, R. H. 1972 Haptic illusion: Apparent elongation of a disk rotated between the fingers. *Science*, 179, 590-592.
- Hammer, Elaine, R. 1949 Temporal factors in figural aftereffects. *American Journal of Psychology*, 69, 337-354.
- Singer, G., & Day, R. H. 1965 Temporal determinants of a kinesthetic aftereffects. *Journal of Experimental Psychology*, 69, 343-348.
- 椿 智子 1977 触的錯覚に関する一研究：回転円盤のみかけの伸長 卒業論文要旨 (九州大学文学部心理学教室), Vol.15, 13-15.