

回転円盤の触的錯覚に及ぼす時間要因の分析

近畿大学 渡辺功

Analysis of temporal factor affecting haptic illusion of a rotated disk

Isao Watanabe (Department of Industrial Design, Kinki University in Kyushu, Izuka, Fukuoka 820)

Twenty-four subjects experienced Cormack's illusion by rotating a disk using fingers of both hands with some pauses inserted during the rotation. Variables were durations for rotating a disk and pause. The illusion magnitude was measured just before each pause. The first experiment showed that the illusion magnitude decreased with increasing the pause. The second experiment showed that there was no difference in illusion magnitude between 5- and 20-second conditions of pause for 20-second rotating duration, although the magnitude was smaller for 20-second pause than that for 5-second pause under the condition of 5-second rotating duration. The experiment also showed that the final magnitude did not depend on whether the magnitude was measured every five seconds or only once at the end of the rotation. The results indicate that pause during rotation contributes to recovering from adaptation due to the rotation and that the effect of pause depends on the duration of rotation. The results also indicate that the increasing illusion magnitude with time is not an artifact due to the method of measuring the magnitude.

Key words: tactual perception, Cormack's illusion, duration, pause, adaptation.

Cormack (1972) は次のような触的錯覚の現象を報告した。目を閉じ、硬貨を立てて上端を左手の人さし指で、下端を親指で支え、右手の親指で硬貨の手前の上端を押し、人さし指で反対側の端を引くことによって回転運動させる。この回転運動を続けると、硬貨は垂直な回転軸方向が縮む、あるいは軸と直角方向に伸長して横長の楕円状の形に感じられてくる。その錯覚量は最初の 30 秒間急増し、以後更に 30 秒間漸増する。

この錯覚は、回転運動を停止したり硬貨を見つめたときには完全に消失する。また、硬貨が大きく、回転速度が大きいほど錯覚量が増加し、硬貨の厚さが増すと錯覚量は減少する (Cormack, 1972; 渡辺, 1980)。

回転持続に伴う触的錯覚量の時間的な変動曲線が、視覚的な凶形残効 (Hammer, 1949) や運動感覚的な凶形残効 (Singer & Day, 1965) の変動曲線に類似していることから、Cormack (1972) はこの現象を順応過程によるものと考え、これを説明するために二つの仮説を立てた。すなわち、触的錯覚の原因が、円盤を持つ指の順応にあるものとする仮説 1、および、円盤を回転する指の順応にあるものとする仮説 2 である。仮説 1 によると、硬貨を持つ指が、硬貨の回転に伴ってその端に圧迫されねじ込まれることに順応し、硬貨の縦幅が縮小して感じられる。その結果、硬貨の変形が生起するという。仮説 2 によると、回転させる指が、硬貨の厚さと硬貨の直径の平均値に対して順応し、硬

貨の横幅は、順応している横幅の平均値より大きく感じられる。その結果、硬貨の変形が生起するという。

渡辺 (1980) は、両手に与える効果を考慮した種々の刺激を使用した実験を行い、Cormack (1972) の触的錯覚の主要因は、ほぼ仮説 1 の指摘するとおり、硬貨を持つ指にあることを確認した。

さて、この錯覚は硬貨を回転する持続時間の経過とともに、最初 30 秒間急増し、更に漸増する。この事実から、Cormack (1972) の錯覚における順応効果は時間経過に伴って加重されると考えられるが、時間経過とともに単純に加重されるとは考えられない。本研究では、回転と休憩を交互に繰り返す実験条件を設定した実験を行うことにより、Cormack (1972) の触的錯覚に及ぼす順応効果を時間的側面から明らかにすることを目的とする。

また、Cormack (1972) の触的錯覚を測定したこれまでの実験手続き (Cormack, 1972; 渡辺, 1980) においては、60 秒経過後の最終錯覚量に到達する以前に、常に数回以上の口頭報告が求められている。従って、これまでに獲得された最終錯覚量は、時間経過に伴う触的な順応の加重効果に加えて、口頭報告による加重効果をも含んでいる可能性がある。つまり、最終錯覚を報告するに先立つ 5 秒ごとの報告が、触的順応効果を増加させたことも考えられる。本研究は、この可能性を検討することをも目的とする。

実験 1

回転と休憩を交互に繰り返す実験事態において、回転時間を5秒に固定したまま、休憩時間を5秒、10秒、15秒と変化させたときの、回転持続の時間的経過に伴う錯覚量の変化を調べることを目的とする。

方法

刺激材料 次のように作成した比較図形を用意した。直径30 mmの円と、この円を縦に二分してできる半円を3 mmステップで左右に離し、その間を直線で補間した横長の楕円状の形を12個(横の総延長が33 mmから66 mm)つくり、縦26 cm×横36 cmの画用紙上に順に描き並べた。それぞれの形には円を1とし、以下横幅が最大の13まで順に番号を書いた。この用紙をボードに張りつけ、被験者から見て垂直から30°後方に傾けて机上に設置できるようにした。

練習試行用の刺激として直径20 mm厚さ2 mmの円盤と、本試行用の刺激として直径30 mm厚さ2 mmの円盤、の計2種類の真鍮製の円盤を用意した。

手続き 暗室内で机上を照明し、被験者を、机をはさんで実験者と相対して着席させた。まず、練習用の円盤を用いてCormack(1972)の錯覚を経験させた。被験者は両ひじを机の上につけた状態で、円盤を立てて左手の親指と人さし指でささえ、右手の親指で押し、人さし指で円盤を手前に引くという動作を繰り返しながら、30秒間回転した。その間、実験者は被験者の回転数を数え、この回転数を2倍したものを毎分の回転速度として記録した。この期間中に錯覚の報告がない場合には、この錯覚について説明した後、もう一度被験者に30秒間回転を求めた。

次に、比較図形を机上に設置した。被験者に、本試行用の円盤を用いて、練習用の円盤の場合と同じ等速度で円盤を60秒間回転させた。開眼のまま、比較図形も円盤も見えない指に感じる形だけに注意するよう教示した。視点の位置についての特別な指示は与えなかった。

コントロール(以下Cと略す)条件においては、テープレコーダーから5秒ごとのクリック音が聞こえるたびに、回転運動を続行したまま、その直前に指に感じられた形に最も近いものを比較図形から選び、その番号を口頭報告するよう被験者に求めた。C条件のもとで、1回の練習試行に続いて1回の本試行を求めた。

休憩挿入の3条件においては、テープレコーダーからブザー音が聞こえる5秒間回転を続け、ブザーの停止期間中回転を止め円盤を左手に保持し続ける、という動作の繰返しを被験者に求めた。そして、ブザーの停止とともに、その直前に指に感じられた形に最も近いものを比較図形から選び、その番号を口頭報告する

よう求めた。5秒回転5秒休止を5-5条件、5秒回転10秒休止を5-10条件、5秒回転15秒休止を5-15条件とし、各条件ともこれらの動作を繰り返すよう求めた。いずれの条件においても、回転持続の総時間は60秒であった。

休憩挿入の3条件のもとで1回ずつの試行をランダムな順で被験者に求め、続いて、これら3条件のうち最初に試行した条件のもとで、更に1回の試行を求めた。例えば、ある被験者には、5-10条件、5-15条件、5-5条件、5-10条件の順で求めるといったように、である。合計4回の試行のうち、第1試行を練習試行、残り3回の試行を本試行とした。

半数の被験者はC条件、休憩挿入条件の順序で、残りの被験者は逆の順序で試行を求められた。試行順序の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11名女性1名の右利きの大学生であった。

結果

錯覚量は、被験者の選んだ比較図形の番号数から1を引き、それを10倍したものを、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。実験2においても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40.1($SD=4.0$)回転であった。四つの各条件ごとの、60秒間の錯覚量の変動の様子をFigure 1に示す。

図より、いずれの条件においても、回転持続の時間的経過とともに錯覚量が増加して行くのがわかる。しかし、時間経過に伴う錯覚量の変化の様子は、条件によって若干異なる。5-15条件の錯覚量は全般的にほかの3条件より小さい傾向がある。一方、C条件の錯覚量はほかの条件に比べて大きく、時間経過に伴って順調に増加している。5-5条件と5-10条件の錯覚量

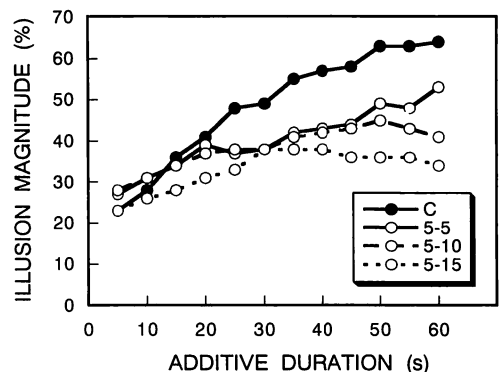


Figure 1. The illusion magnitude as a function of rotating duration for each condition. See text for details.

Table 1
The results of analysis of variance and lower test by Fisher's least significant difference (LSD)
for each pair of conditions of pause for each additive duration^{a)}

	Additive Duration (s)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
<i>F</i> (bet. subj.)	15.04	12.66	13.75	22.38	21.03	19.05	23.81	22.61	24.37	28.28	24.84	31.06
<i>p</i>	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
<i>F</i> (bet. cond.)	1.40	1.00	2.06	5.28	10.51	5.63	9.88	11.59	14.29	26.27	23.28	37.24
<i>p</i>				**	***	**	***	***	***	***	***	***
LSD				0.548	0.754	0.908	1.217	1.217	0.691	0.836	0.671	0.626
pair of cond.												
C vs. 5-5					**	**	***	***	*	**	*	*
C vs. 5-10					**	**	***	***	*	**	*	*
C vs. 5-15				*	**	**	***	***	*	**	*	*
5-5 vs. 5-10												*
5-5 vs. 5-15				*					*	**	*	*
5-10 vs. 5-15				*						**	*	*

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

^{a)} Test was performed only for the additive duration where a significant effect had been obtained among the conditions by an analysis of variance.

は20秒経過時点までC条件とほぼ等しいが、以後、錯覚量はC条件ほど伸びず、5-15条件との違いは明らかでない。45秒経過時点から三つの挿入条件間で錯覚量の違いが明らかとなる。60秒経過後の最終錯覚量を比較すると、休憩時間が長くなるにつれて錯覚量が小さくなっていることがわかる。

5秒から60秒までの各経過時点ごとに、錯覚量のデータを用いて、四つの条件間で分散分析を求め、有意差の見られた経過時点においては、更にLSD法による下位検定を行った。その結果をTable 1に示す。統計処理の結果も上の記述を支持する。どの経過時点においても、個人差に関して有意差が見られた。

実験 2

実験1では、回転途中に挿入する休憩時間が、錯覚量を減少させる効果をもつことがわかった。しかも、休憩時間が長いほど、その効果も大きかった。一般に、順応する時間が長くなるほど、その効果は蓄積される。もし、順応の効果が本現象の錯覚量に反映されるのであるならば、硬貨の回転時間を長くすることによって、休憩時間による効果は異なることが予測される。

本実験では、実験1と同様の実験事態において、回転時間を5秒あるいは20秒に、休憩時間も5秒あるいは20秒に変化させたときの、回転持続の時間的経過に伴う錯覚量の変化を調べることを目的とする。また、最終錯覚に到達する途中に錯覚量についての口頭報告を求めることが、錯覚量に効果をもつかどうかを

調べることをも目的とする。

方法

刺激材料 実験1で使ったと同じ、比較図形と円盤を用いた。

手続き Cormack (1972)の錯覚を被験者に経験させた後、円盤を用いて実験に入った。以下に記述したほかの手続きは実験1と同様であった。

次の二つのコントロール条件のもとで試行を求めた。コントロールa(以下C-aと略す)条件においては、実験1のC条件と同じやり方に従った。コントロールb(以下C-bと略す)条件においては、60秒間円盤を回転し続け、終了合図とともにその直前に指に感じられた形に最も近いものを比較図形から選び、その番号を口頭報告するよう被験者に求めた。C-a、C-bの各条件のもとで、それぞれ、1回の練習試行に続いて1回の本試行を求めた。半分の被験者はC-a条件、C-b条件の順序で、残りの被験者は逆の順序で試行を求められた。

休憩挿入の4条件においては、ほぼ実験1と同じやり方に従ったが、回転時間と休止時間が条件によって以下のように違っていた。5-5条件では、5秒回転5秒休止、5-20条件では、5秒回転20秒休止、20-5条件では、20秒回転5秒休止、20-20条件では、20秒回転20秒休止の動作の繰返しをそれぞれ求めた。いずれの条件においても、回転持続の総時間は60秒であった。

休憩挿入の4条件のもとで1回ずつの試行をランダ

ムな順で被験者に求め、続いて、これら4条件のうち最初に試行した条件のもとで更に1回の試行を求めた。例えば、ある被験者には、5-5条件、20-20条件、5-20条件、20-5条件、5-5条件の順で求めるといったように、である。合計5回の試行のうち、第1試行を練習試行、残り4回の試行を本試行とした。

被験者 本錯覚に関して未経験な男性12名の右利きの大学生であった。

結果

各被験者の回転速度の平均は毎分38.6($SD=3.9$)回転であった。C-a条件と四つの休憩挿入条件の各条件ごとの60秒間の錯覚量の変動の様子、およびC-b条件の錯覚量をFigure 2に示す。

図より、いずれの条件においても、回転持続の時間的経過とともに錯覚量が増加して行くのがわかる。しかし、時間経過に伴う錯覚量の変化の様子は、条件によって若干異なる。20-5条件、20-20条件および、5-5条件の錯覚量は、回転開始20秒経過した時点においてC-a条件と等しいが、その後、錯覚量がC-a条件ほど増加しないことがわかる。しかも、20-5条件、20-20条件および、5-5条件の錯覚量はどの経過時点においてもほとんど錯覚量に違いが見られず、40秒経過以後C-a条件より小さい。5-20条件の錯覚量は、20秒、40秒、60秒のいずれの経過時点においてもほかの4条件より小さい。C-b条件の錯覚量を60秒経過後のC-a条件と比較すると、ほとんど違いは見られない。

5秒から60秒までの各経過時点ごとに、錯覚量のデータを用いて条件間で分散分析を求めた。実際には、60秒では六つの条件間で、20秒と40秒ではC-b条件を除く五つの条件間で、5秒、10秒、15秒、25秒、30秒、35秒、45秒、50秒、および55秒では

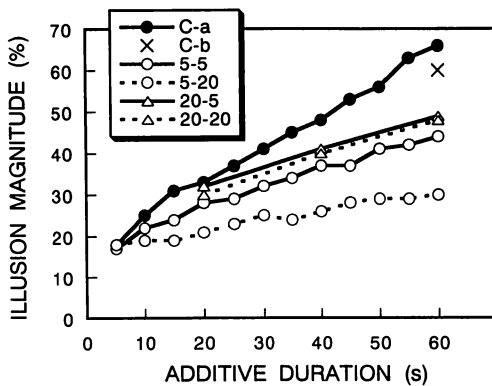


Figure 2. The illusion magnitude as a function of rotating duration for each condition. See text for details of each condition.

C-a, 5-5, および5-20の三つの条件間で分散分析を行った。有意差の見られた経過時点においては、更にLSD法による下位検定を行った。その結果をTable 2に示す。統計処理の結果も上の記述を支持する。また、45秒を除くすべての経過時点において、個人差に関して有意差が見られた。

考察

いずれの条件においても、回転持続の時間的経過に伴って錯覚量が増加することがわかった。実験1より、回転時間を5秒に固定したまま、休憩時間を5秒、10秒、15秒と変化させたとき、休憩時間の増加に伴って錯覚量の伸びは減少することがわかった。すなわち、休憩を挿入しないC条件の錯覚量は時間経過に伴って順調に増加して行くのに対し、三つの休憩挿入条件の錯覚量は20秒経過時点から錯覚量の増加量が減じて行く。20秒経過時点で5-15条件の錯覚量だけがほかの3条件より小さい。25秒経過時点以後、三つの休憩挿入条件の錯覚量は等しく、しかもC条件より小さい。45秒の経過時点以後、休憩挿入条件間の錯覚量の違いが再び明らかとなった。60秒の回転持続後の最終錯覚量を比較したところ、C条件、5-5条件、5-10条件、5-15条件の順で減少した。

以上の結果から、指に生じた触覚的な順応効果が時間経過に伴って蓄積されるものであると考えられる。しかし、回転途中に挿入する休憩時間はその順応から回復させる効果を持ち、そのような回復効果は休憩時間が長くなるほど大きいものと考えられる。

実験2より、錯覚量に見られる休憩時間の効果は、回転時間に依存することがわかった。60秒経過後の最終錯覚量を比較すると次のとおりであった。回転時間が20秒で休憩時間が5秒である20-5条件と、同じ回転時間で休憩時間が20秒である20-20条件間に休憩時間による錯覚量の違いは見られなかった。一方、回転時間が5秒で休憩時間が20秒である5-20条件の錯覚量は、同じ回転時間で休憩時間が5秒である5-5条件より小さいことがわかった。

また、条件間の錯覚量の違いは、回転持続の時間経過に伴って顕著となることがわかった。すなわち、休憩を挿入しないC-a条件の錯覚量は時間経過に伴って順調に増加して行くのに対し、休憩挿入条件の錯覚量は増加量が減じて行く。5-20条件の錯覚量は、10秒経過時点以後C-a条件より小さい。20秒の経過時点で、C-a条件、20-5条件、20-20条件および、5-5条件の錯覚量はほぼ等しく、5-20条件の錯覚量は最も小さい。40秒経過以後、20-5条件、20-20条件および、5-5条件の錯覚量はほぼ等しく、しかもC-a条件より小さい。5-20条件の錯覚量は最も小さい。

20-5条件と20-20条件の錯覚量がほぼ等しく、しかも回転持続の時間経過に伴って増加する結果から、

Table 2
The results of analysis of variance and lower test by Fisher's least significant difference (LSD)
for each pair of duration-pause conditions for each additive duration^{a) b)}

	Additive Duration (s)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
<i>F</i> (bet. subj.)	6.22	5.26	7.68	5.98	3.78	2.94	2.50	6.57	2.08	3.42	2.96	8.33
<i>p</i>	***	***	***	***	**	*	*	***		**	**	***
<i>F</i> (bet. cond.)	0.09	3.80	7.68	4.30	8.93	9.91	16.60	14.13	22.39	29.92	43.35	25.50
<i>p</i>		*	**	**	**	***	***	***	***	***	***	***
LSD		0.440	0.619	0.638	0.648	0.729	0.991	0.621	0.777	0.947	0.991	0.939
Pair of cond.												
C-a vs. C-b												
C-a vs. 5-5			*		*	*	**	*	*	**	**	**
C-a vs. 5-20		*	*	*	*	*	**	*	*	**	**	**
C-a vs. 20-5								*				**
C-a vs. 20-20								*				**
C-b vs. 5-5												**
C-b vs. 5-20												**
C-b vs. 20-5												**
C-b vs. 20-20												**
5-5 vs. 5-20				*		*	**	*	*	**	**	**
5-5 vs. 20-5												
5-5 vs. 20-20												
5-20 vs. 20-5				*				*				**
5-20 vs. 20-20				*				*				**
20-5 vs. 20-20												

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

^{a)} Test was performed only for the additive duration where a significant effect had been obtained among the conditions by an analysis of variance.

^{b)} Test was performed for all pairs for 60 s, all pairs except C-b related pairs for 20 and 40 s, and three pairs selected among C-a, 5-5, and 5-20 conditions for the other additive duration.

次のように考えられる。20秒間回転させることによって得られた順応効果は、回転をやめた後も少なくとも20秒経過するまで残存しており、休憩時間による順応からの回復効果は小さい。5-5条件の錯覚量が20-5条件と20-20条件の錯覚量にほぼ等しい結果から、次のように考えられる。5秒間回転させることによって得られる順応効果は、回転をやめて5秒経過する時点までは、20秒回転させた場合と変わらぬ順応の効果が残存する。しかし、5-20条件の錯覚量は、回転持続の10秒経過時点以後、ほかの条件に比べて錯覚量が小さい事実から、次のように考えられる。5秒間回転させることによって得られた順応効果は小さく、従って、20秒の休憩時間が経過するうちに急速に消失する。

以上のように、本研究で得られた時間要因による順応効果の現れ方は、視覚的な図形残効、運動感覚的な図形残効の順応効果におけると同様の傾向を示した

(Hammer, 1949; Singer & Day, 1965)。ここで得られた事実は、Cormack (1972) の触的錯覚を成立させる順応のメカニズムを直接明らかにするものではないが、その原因が指の順応効果によるものであるとする考えを支持するものである。

さて、5秒ごとに錯覚量について逐次口頭報告をするC-a条件と、60秒経過後に一度だけ最終錯覚量を口頭報告するC-b条件の間で最終錯覚量に違いが見られなかった。この結果から、Cormack (1972) や渡辺 (1980) によって用いられたCormack (1972) の触的錯覚を測定するやり方は、言語報告による加重効果を含んでおらず、もっぱら、触的錯覚量そのものを捕らえているものと考えられる。

引用文献

Cormack, R. H. 1972 Haptic illusion: Apparent

elongation of a disk rotated between the fingers. *Science*, **179**, 590-592.

Hammer, E. R. 1949 Temporal factors in figural aftereffects. *American Journal of Psychology*, **69**, 337-354.

Singer, G., & Day, R. H. 1965 Temporal determi-

nants of a kinesthetic aftereffects. *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.

—1994. 3. 31 受稿, 1995. 1. 21 受理—