

平成21年5月20日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18530564

研究課題名（和文） 渦巻き残効の研究

研究課題名（英文） A study on spiral aftereffect.

研究代表者

市原 茂（ICHIHARA SHIGERU）

首都大学東京・人文科学研究科・教授

研究者番号：90137018

研究成果の概要：回転する渦巻き図形を長時間観察した後で静止図形を観察すると、渦巻きの巻きの方向や回転方向などによって拡大したり縮小して見え、さらに回転して見える。様々な視覚運動パターンを使って、拡大縮小残効と回転残効の両面からこの現象を探ったところ、回転残効が小さく（大きく）なる条件で拡大縮小残効が大きく（小さく）なることなどが明らかになった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,600,000	0	1,600,000
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	570,000	4,070,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：渦巻き残効，奥行き運動残効，拡大縮小残効，回転残効，運動視，奥行き知覚

## 1. 研究開始当初の背景

渦巻き図形を回転させると渦巻きの巻く方向や回転方向などにより、渦巻きの手前に進出したり（あるいは、拡大したり）、後ろに後退して（縮小して）見える。このような回転する渦巻き図形をしばらく観察した後で静止図形を観察すると、その図形は順応時とは逆の方向に運動して見える。例えば、手前に進出して見える渦巻き図形に順応すると静止図形が後ろに後退して見える。このような現象を渦巻き残効という。

渦巻き残効は古くから一般に知られている現象であるが、これまであまり深い検討がな

されてこなかった。

例えば、回転する渦巻き図形には、奥行き運動成分と回転運動成分の二つの運動成分があり、回転する渦巻き図形を長時間観察すると奥行き運動残効（あるいは、拡大縮小残効）だけでなく、回転残効も生じるはずであるのに、従来の研究では、回転残効の検討があまりなされていないこと。さらに、渦巻き図形には、等距離螺旋と等角螺旋があり、螺旋の種類によって残効の強弱が異なる可能性があるのに、これについてもほとんど検討がなされていないことなど、渦巻き残効は、現象そのものは有名であるのに、条件分析があ

まり進んでいない状況であった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、渦巻き残効の成立メカニズムを明らかにするために、心理物理学的方法を用いて、渦巻き残効の条件分析を行うことである。主な目的は、以下の4点であった。

(1) 渦巻き図形（螺旋）の種類及び回転速度が、渦巻き残効に与える影響。

渦巻き図形には、等角螺旋と等距離螺旋があるが、ここでは、螺旋の種類と螺旋の回転速度が回転残効と拡大縮小残効の及ぼす影響について検討した。

(2) 局所運動の特性が回転・拡大縮小残効に及ぼす影響

回転する渦巻き図形には、拡大縮小運動の要素と回転運動の要素とが含まれる。拡大縮小運動や回転運動などが呈示されると、まず視覚システムの初期の段階で局所運動が検出され、それらの信号がより高次の処理をおこなう段階において統合されることによって、拡大縮小運動や回転運動が検出されるとする考えがある。例えば、拡大運動が呈示されると、拡大運動の上部における上方向の局所運動、下部における下方向の局所運動というように、運動が呈示される領域内の各部における局所運動がまず検出される。その後、それらの局所運動の位置と方向から、それらが全体として拡大運動をしていることが検出される。螺旋の種類や回転速度を変えて、それらの局所運動の効果を見る方法もあるが、螺旋の場合には、局所運動の方向の記述が複雑になることなどの理由から、螺旋に代わるパターンとして、運動方向の異なる4つのガボールパッチを同心円上に配置したパターンを順応刺激に用いることにより、局所運動方向が拡大縮小残効や回転残効に及ぼす効果をさらに直接的に検討した。

(3) 局所運動とコントラストの影響

実験(2)において、局所運動の統合の結果として拡大縮小運動および付随する残効が知覚されたが、この際に知覚された拡大縮小残効が奥行き運動知覚を生じさせるかどうかを検討するための実験を行った。コントラストが段階的に増加または減少する刺激を長時間観察することによって奥行き運動残効が生じることを利用し、コントラストの段階的变化を与えることで、実験(2)で得られた結果が奥行き運動知覚と関連するものであるのかどうかを検討した。実験(2)の局所運動の統合において観察された拡大縮小残効が奥行き運動と関連しているならば、実験(2)と同様の局所運動の統合の際にコントラ

ストの増減を加えることで拡大縮小残効の強度が変化することが予想された。

(4) 前庭情報が視運動知覚におよぼす影響

奥行き運動知覚は、対象の自己に対する接近後退を示すだけでなく、自己が周囲に対して移動していることを知覚し移動を制御する際に重要である。一方、自己の移動の感覚をもたらす。一方私たちは、頭部の運動に伴う加速度（前庭情報）を検出することによっても自らの移動を認識できる。本研究では、移動事態において放射運動知覚と前庭情報がどのような相互作用を持って処理されているのかについて実験的に検討を行った。

## 3. 研究の方法

(1) 渦巻き図形（螺旋）の種類及び回転速度が、渦巻き残効に与える影響

① 実験(1-1)

刺激：螺旋（順応刺激：図1）の大きさは、視角 10.98deg, 巻数 3 回転、渦の本数は 1 本で、回転速度（角速度）は、720deg/s と 60deg/s の 2 条件で、回転方向は右回りであった。等距離螺旋の線の間隔は 1.84deg, 等角螺旋の螺旋上の点と中心を通る直線と螺旋の接線のなす角は 80deg。

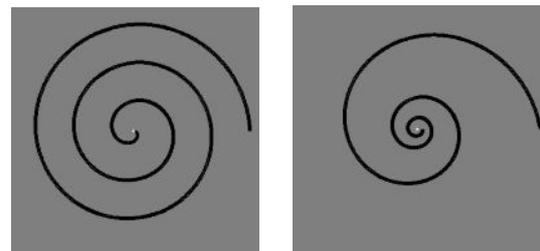


図1 順応刺激

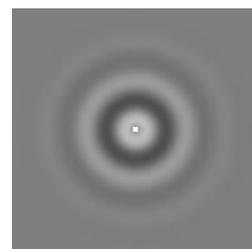


図2 運動同心円格子（検査刺激）

検査刺激は、正弦波状に輝度変調した運動同心円格子（図2）。その空間周波数は 0.545cpd で、運動速度は、0.023deg/s ステップで変化した。

実験装置：刺激は CRT モニタ (SONY GDM-17SE2T) に提示した。

手続き：最初に 30 秒間、順応刺激を観察した後で、検査刺激を 1 秒間提示した。被験者は検査刺激が中心に向かって動いて見えるか、周辺に向かって動いて見えるかを、キ

一で答えた。以後、順応時間は 10 秒に短縮された。運動残効の測定は、二重階段法を用いて行い、検査刺激が主観的に静止して見える時の検査刺激の運動速度を残効量とした。もし残効が強ければ、打ち消すのに必要な反対方向の実際運動も大きくなることが考えられるので、主観的に静止するために必要な実際運動の速度を残効の強さとした。観察距離は、65cm であった。

実験参加者：裸眼視力、もしくは、矯正視力が正常な 4 名の成人が実験に参加した。

## ②実験 (1-2)

刺激：検査刺激は、ガウスフィルターをかけた十字形 (図 3) で、 $0.25 \text{ deg/s}$  ステップで右回り、もしくは、左回りに回転速度が可変であった。その他の条件は、実験 1 と同様であった。

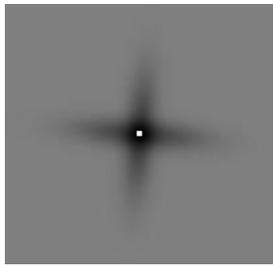


図 3 ガウスフィルターをかけた十字形 (検査刺激)

手続き：回転運動では、十字形を残効と反対方向に運動させ、主観的に静止する速度を残効の強度とした。

(2) 局所運動の特性が回転・拡大縮小残効に及ぼす影響

### ①実験 (2-1)

刺激：順応刺激は、半径約 1.4 度の円周上に 90 度間隔で並んだ 4 つの Gabor patch (半径：視角 1 度、標準偏差：視角 0.125 度、格子の空間周波数： $2c/\text{deg}$ 、格子の運動速度： $4 \text{ deg/s}$ 、格子の運動方向 ( $\theta$ )：視野の中心 (凝視点) から個々のパッチの中心までの線分に対して時計回りに  $30^\circ$  ステップで  $15^\circ$

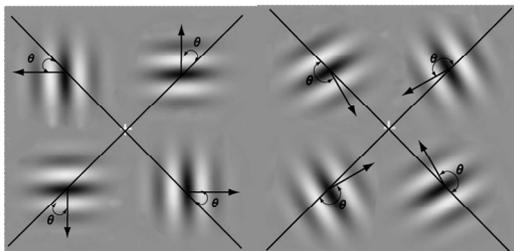


図 4 Gabor patch (順応刺激) の例 (左： $\theta = 45^\circ$  右： $\theta = 165^\circ$ ：矢印は格子の運動方向を示す)

～ $165^\circ$  の 6 条件) を用いた (図 4)。運動格子のコントラストは 0.8 であった。検査刺激は、半径 2.5 deg、空間周波数  $2c/\text{deg}$  の同心円状の運動格子を用いた。速度は上下法によって実験参加者の反応に従って変化した。

手続き：各順応刺激に対して、その順応刺激による残効を相殺するのに必要な物理的な運動速度を上下法によって測定した。順応刺激を 10 秒提示後、検査刺激を 0.5 秒提示し、検査刺激の提示終了後、実験参加者は検査刺激が拡大して見えたか縮小して見えたかをボタン押しによって回答した。検査刺激の提示終了 2 秒後に、順応刺激を再び提示し、同様の手続きを繰り返した。検査刺激の同心円の運動速度は、実験参加者のボタン押しによって変化した。

実験参加者：実験参加者は成人 5 名 (男性 3 名、女性 2 名) であった。いずれも正常な視力または矯正視力を有していた。

装置：刺激は CRT モニタ (FlexScan T966 ナオ) に提示した。

### ②実験 (2-2)

刺激：順応刺激は、実験 (2-1) と同じであった。検査刺激は、Gabor patch をかけた十字形。被験者の反応に従って、時計回りもしくは反時計回りに 1 ステップずつ速度が変化した。

手続き：各順応刺激に対して、その順応刺激による回転残効を相殺するのに必要な物理的な回転運動速度を上下法により測定した。測定方法は、基本的には実験 (2-1) と同じ。実験参加者は、検査刺激が時計回りに見えたか反時計回りに見えたかを答えた。

実験参加者：正常な視力または矯正視力を有する成人男性 4 名、成人女性 1 名。

装置：実験 (2-1) と同じであった。

### (3) 局所運動とコントラストの影響

刺激：順応刺激は、実験 (2-1) 及び (2-2) で用いた 4 つの Gabor patch。運動方向も実験 (2-1) と同じ。ただし、0.07, 0.15, 0.3, 0.6 の順で 250ms ごとに運動格子のコントラストが 1 段階ずつ増加し、それを繰り返す増加条件と、反対に 0.6 から 0.07 まで 1 段階ずつ減少し、それを繰り返す低下条件の 2 条件のコントラスト変化条件が加えられた。検査刺激は、実験 (2-1) と同じ。

手続き：実験 (2-1) と同じ。

実験参加者：正常な視力または矯正視力を有する成人男性 5 名。

装置：刺激は CRT モニタ (SONY Multiscan 17 se II) に提示した。

### (4) 前庭情報が視運動知覚におよぼす影響

本実験では、身体の前進後退 (前庭情報の提示) と拡大縮小運動を、前進-拡大のよう

に一致させた条件と、前進-縮小のように一致させない条件との間のコヒーレンス閾の差を検討した。コヒーレンス閾とは、放射状運動を検出するために必要な、放射状に運動するドットの割合（残りはランダムな方向に運動）のことである。

#### 4. 研究成果

(1) 渦巻き図形（螺旋）の種類及び回転速度が、渦巻き残効に与える影響

順応刺激の回転速度が速い場合も遅い場合も、等距離螺旋の方が等角螺旋よりも大きな拡大残効を得た。等角螺旋は、中心から周辺にかけて線の勾配が急なため、拡大縮小残効が大きく出るのはないかと予想したが、結果は逆であった（図5）。一方、回転残効の場合には、順応刺激の回転速度が遅い場合には、螺旋の種類による違いは生じなかった。また、早い場合には、等距離螺旋の残効量の方が大きかった（図6）。

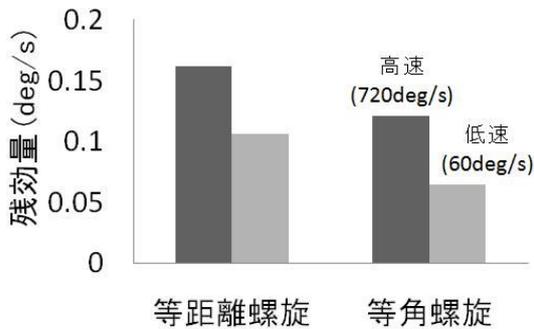


図5 螺旋の種類と拡大縮小残効

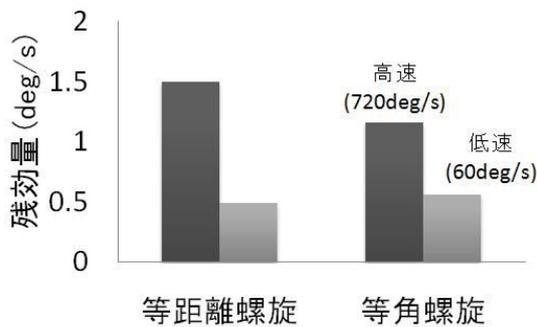


図6 螺旋の種類と回転残効

これらは、順応刺激が低速の場合には、回転残効については条件差が生じないというわれわれの以前の研究結果を補強する結果であり、拡大縮小残効と回転運動残効に寄与する視覚系のメカニズムが異なることを示唆するものであった。ただ、この研究の問題点として、螺旋の形が、等距離螺旋や等角螺旋のような螺旋の種類だけでなく、それぞれの螺旋を描く際のパラメータによっても変動すること。螺旋の運動方向が、螺旋の中心部と周辺部とで連続的に変化するが、その変

動が非常に複雑で、どの部分が今回の結果に影響したのかを特定するのが難しいことなどがあげられた。

#### (2) 局所運動の特性と回転・拡大縮小残効

(1)の問題点を踏まえて、ここでは、渦巻き図形ではなく、4つのガボールパッチを組み合わせた図形を用いて、局所運動の影響をより直接的に調べたわけであるが、局所運動の組み合わせが拡大放射状運動に近い条件（ $\theta$  が小さい条件）では縮小残効が、縮小放射状運動に近い条件では拡大残効がより強く生じた（図7）。即ち、順応刺激の縞の運動方向がパッチの円の内部に向かっている  $105^\circ$   $135^\circ$   $165^\circ$  の場合には、拡大残効が生じ、順応刺激の縞の運動方向がパッチの円の外に向かっている条件の  $15^\circ$   $45^\circ$  の場合には、縮小残効が生じた。しかし、 $75^\circ$  の場合には、むしろ拡大残効が生じた。また、全体に、拡大残効の方が残効量が多かった。

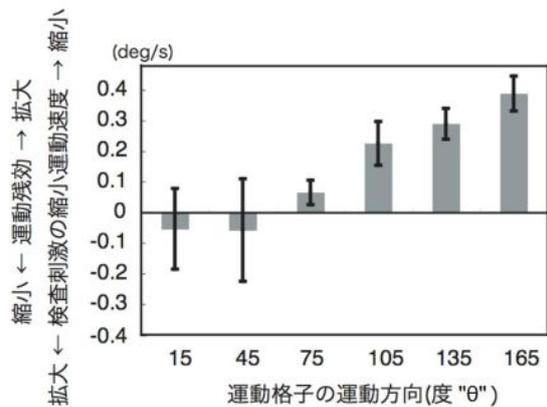


図7 局所運動方向と拡大縮小残効

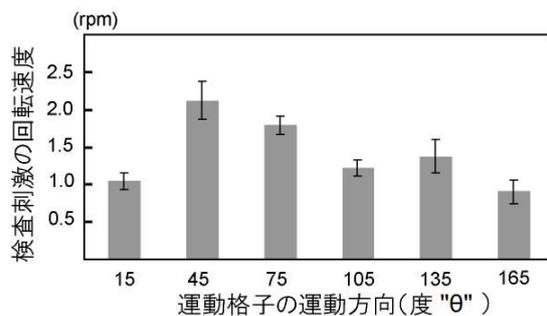


図8 局所運動方向と回転運動残効

回転残効に関しては、 $\theta$  が  $45^\circ$  のとき、すなわち局所運動の組み合わせがやや拡大放射運動に近い条件のとき、最大の回転残効が生じた（図8）。回転残効と拡大縮小残効の強度の間には相補的な関係があり、一方が大きい条件ほど他方が小さくなることが確認され、両者には相互抑制的な関係があることが推測された。

### (3)局所運動とコントラストの影響

局所運動と拡大縮小残効の関係に関しては、実験(2-1)の結果が再現され、当該の結果の再現性の高さが示された。一方、コントラストの影響に関しては、系統的な効果を見いだすことができなかった。コントラスト変化が効果を持たなかったからといって、実験(2-1)で得られた結果に奥行き知覚処理メカニズムが関与していないとするのは、結論を急ぎすぎると思われる。コントラスト変化が拡大縮小残効に影響を及ぼすためには、特殊な条件が必要との研究報告もあり、この点については、今後の検討課題である。

### (4)前庭情報が視運動知覚におよぼす影響

本研究では前進・後退運動時に前庭情報と視覚情報が一致・不一致となる条件を設定し、それらの条件下で、視覚運動検出閾がどのように変化するかを検討した。その結果、前庭-視覚情報が不一致な条件よりも、一致する条件において視覚運動パタンの検出閾が有意に高くなることが明らかとなった。

移動中は、主に環境中の背景に相当する部分が、網膜上の広い領域に渡って特定の運動パターンを生じる。本研究の結果は、こうした背景による大域的な運動パターンをキャンセルアウトして環境中の物体により多くの注意を払えるようにする仕組みが視覚系に存在することを示すのかもしれない。ただし先行研究からは、視覚運動パターン観察時に自己運動情報が付与されることによって視覚運動パタンの弁別精度が向上することも報告されており、視運動知覚と前庭情報との相互作用については今後さらなる実験的、理論的検討が必要であると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1件)

①市原茂 コントラスト：奥行き知覚の絵画的要因、知能と情報 (日本知能情報ファジイ学会誌), 20, 296-302, 2008, 査読無

[学会発表] (計 7件)

①草野勉, 千田明, 市原茂 相対運動による運動残効, 第17回人間工学システム大会, 2009.3.17, 東海大学湘南校舎

②白井述, 市原茂 前庭運動が視運動知覚に及ぼす影響について, 第17回人間工学システム大会, 2009.3.17, 東海大学湘南校舎

③白井述, 伊村知子, Deirdre BIRTLES, Shirley ANKER, 市原茂, John WATTAM-BELL, Janette ATKINSON, Oliver BRADDICK 拡大/縮小運動に対する非対称な皮質活動の分

布：ヒト成人と生後3-5ヶ月児を対象に、日本基礎心理学会第27回大会, 2008.12.7, 仙台国際センター

④ Nobu SHIRAI & Shigeru ICHIHARA Different form-motion interaction in detection of radial, concentric and spiral patterns. 31th European Conference on Visual Perception, 2008.8.26, Utrecht, the Netherlands

⑤市原茂, 草野勉, 千田明 奥行き運動残効について：運動方向の異なる複数の運動格子への順応(2), 日本心理学会第72回大会, 2008.9.20, 北海道大学

⑥市原茂, 草野勉 奥行き運動残効について：運動方向の異なる複数の運動格子への順応, 日本心理学会第71回大会, 2007.9.19, 東洋大学

⑦市原茂, 草野勉 渦巻き残効について：順応刺激の螺旋の種類と回転速度の効果, 日本心理学会第70回大会, 2006.11.3, 九州大学

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

市原 茂 (ICHIHARA SHIGERU)

首都大学東京・人文科学研究科・教授

研究者番号：90137018