

傾き残効における周辺の明るさの影響

上原京子¹⁾・高橋伸子²⁾

Surround brightness contingent tilt aftereffect

Kyoko UEHARA and Nobuko TAKAHASHI

2つの視覚特徴が対になった刺激に順応すると、片方の視覚特徴の残効が他方の視覚特徴に随伴する。明るさ残効は傾きに随伴し(Over, Broerse, Crassini, & Lovegrove, 1974), 傾き残効は周辺の枠の形状に随伴することが報告されている(Nakashima, & Sugita, 2014)。本研究では刺激周辺の物理的および知覚的明るさを変化させ、傾き残効における周辺の明るさの影響を検討した。その結果、時計回りに傾いた順応刺激周辺の明るさとテスト刺激周辺の明るさが物理的または心理的に等しい時、テスト刺激は反時計回りに傾いて知覚され、反時計回りに傾いた順応刺激周辺の明るさとテスト刺激周辺の明るさが物理的または心理的に等しい時、テスト刺激は時計回りに傾いて知覚されることが示された。このことから、傾き残効が刺激周辺の物理的および知覚的明るさに随伴して生じること、物理的明るさによる随伴効果と知覚的明るさによる随伴効果には差がないことが明らかになった。

Keywords : 随伴性残効, 傾き残効, 物理的明るさ, 知覚的明るさ, 順応

Contingent aftereffect, Tilt aftereffect, Physical brightness, Perceived brightness, Adaptation

私たちの感覚器官は同じ刺激が持続的に与えられると、時間経過に伴いその刺激に対する反応が低下する。これを順応と呼び、順応の結果に伴い刺激の見えが変化する現象を残効と呼ぶ。残効には様々な種類があり、日常生活においても残効を感じることができる場面がある。例えば、一定方向に流れている滝を一定時間眺めた後、周囲の静止した木や岩を眺めると、それらが滝の流れとは逆方向である上へ動いているように見えることがある。この現象は滝の錯視と呼ばれ、残効の一種である運動残効である。他にも、傾いた刺激を一定時間眺めて順応した後、垂直な刺激を見ると順応刺激と逆方向に傾いて見える傾き残効などがある。

2つの視覚特徴が対になった刺激に順応すると、片方の視覚特徴の残効が他方の視覚特徴に随伴する。これを随伴性残効と呼ぶ。例えば、赤、黒の垂直格子と緑、黒の水平格子を交互に観察させて順応させた後に白黒の格子を眺めると、垂直格子は緑色に見え、水平格子は赤色に知覚される(McCollough, 1965)。方位に随伴して色残効が生じるこの現象はマッカロー効果と呼ばれている。

また、方位に随伴して明るさ残効が生じることがOver, Broerse, Crassini, & Lovegrove (1974) によって報告されている。Over et al. (1974) の実験では、異なる輝度の垂直格子と水平格子を交互に呈示し、30分間順応させた。順応後、垂直および水平のテスト格子の明るさを調整させた結果、薄暗い順応格子と同じ向きのテスト格子は明るく知覚され、明るい順応格子と同じ向きのテスト格子は暗く知覚されることが示されたため、明るさ残効が方位に随伴することが示された。

これらのマッカロー効果や方位随伴性残効は、組み合わせられる2つの視覚特徴が刺激自体の特徴である場合の随伴性残効であった。しかしNakashima & Sugita (2014) は、物体を知覚する時、周辺の刺激からも影響を受けると考え、傾き残効における刺激周辺に呈示した枠の形の随伴効果を検討した。実験では、順応期とテスト期に分け、ガボールパッチを刺激として使用した。順応期には、時計回り、または反時計回りに15°傾いた順応刺激の周りを正方形または円形で囲み、交互に呈示して3分間順応させた。半数の被験者には時計回りに傾いた順応刺激の周りを正方形で囲み、反時計回りに傾いた順応刺激の周りを円形で囲み順応させた。また、残りの半数の被験者には時計回りに傾いた順応刺激の周りを円形で囲み、反時計回りに傾いた順応刺激の周りを正方形で囲み順応させた。図1左に順応期の流れを示す。図1の例では、順応期に時計回りに傾いた順応刺激と共に正方形、反時計回りに傾いた順応刺激と共に円形の枠を呈示した。テスト期には、垂直方向を0°として反時計回りに2.5°(-2.5°)

1) 愛知淑徳大学 健康医療科学部 医療貢献学科 視覚科学専攻 学部生

2) 愛知淑徳大学 健康医療科学部 医療貢献学科 視覚科学専攻

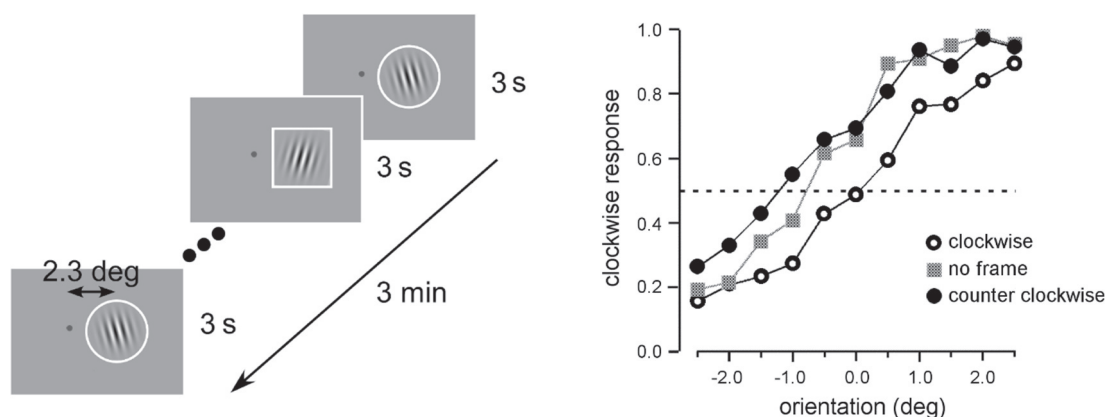


図1 順応期の流れ(左), 実験結果(右) (Nakashima & Sugita, 2014)

から時計回りに $2.5^{\circ}(+2.5^{\circ})$ まで 0.5° 間隔で傾けた 11 段階のテスト刺激を呈示し, 被験者には時計回り・反時計回りのどちらに傾いて見たかを答えさせた。またテスト期には, 順応期で用いた正方形または円形の枠をガボールパッチの周りに呈示する条件に加えて枠を呈示しない条件を設定した。図 1 右に Nakashima & Sugita (2014)の実験結果を示す。図 1 右の時計回り条件(clockwise)は, 順応期に時計回りに傾いた順応刺激と共に呈示していた枠をテスト期で呈示した条件, 反時計回り条件(counter clockwise)は順応期に反時計回りに傾いた順応刺激と共に呈示していた枠をテスト期で呈示した条件, フレーム無し条件(no frame)はテスト期で枠を使用せず, テスト刺激のみを呈示した条件とする。図 1 右より, テスト刺激の傾きが時計回りに知覚された反応確率は, 反時計回り条件では, 時計回り条件・フレーム無し条件よりも高いことが示された。一方時計回り条件では, 反時計回り条件・フレーム無し条件と比較して低く, 反時計回りに知覚されることが示された。これらの結果から, 刺激周囲の枠の形状に随伴して, 傾き残効が生じることが示された。

Frisby(1979)によればあらゆる随伴性残効は事態を逆転させることができる。例えば, 色残効は運動方向に随伴し, また運動残効は色に随伴する。Over et al. (1974) の研究から, 明るさ残効は傾きに随伴することが示された。したがって, 傾き残効を明るさに随伴させることもできると考えられる。また, Nakashima & Sugita (2014) から, 傾き残効は周辺の枠の形状に随伴することが報告され, 刺激周辺の情報の影響も受けることが示された。傾き残効が明るさに随伴するとすれば, 刺激周辺の明るさにも随伴することが予想される。そこで本研究では, 傾き残効における刺激周辺の明るさの随伴効果を検討する。また, 明るさとして物理的明るさと知覚的明るさについて検討する。実験 1 では, 順応刺激の周辺を円形の枠で囲み, 円形内の物理的輝度を変化させることでテスト刺激の傾きが円形内の物理的明るさに随伴するかについて検討する。実験 2 では, 円形内の輝度は変化させず, 明るさの対比効果を用いて円形の知覚的明るさが実験 1 で使用した円形輝度と等しくなるように背景輝度を変化させて順応させることで, テスト刺激の傾きが円形内の知覚的明るさに随伴するかについて検討する。

2 実験 1: 傾き残効における刺激周辺の物理的明るさの影響

2.1 目的

Over et al. (1974) による研究から, 明るさ残効は傾きに随伴することが示された。また Nakashima & Sugita (2014) による研究では, 傾き残効は周辺の枠の形状に随伴することが報告されている。実験 1 では傾き残効の周辺に円形の枠を配置し, 円形内の輝度を変化させることで, 傾き残効における刺激周辺の物理的な明るさの随伴効果を検討した。

2.2 方法

(1)被験者

矯正視力 1.0 以上の女子大学生 4 名 (平均年齢 21.50 ± 0.50 歳) とした。

(2)装置

解像度 1920×1080 pixel, リフレッシュレート 60Hz のモニター(DELL AW2518 HF), PC(Alienware

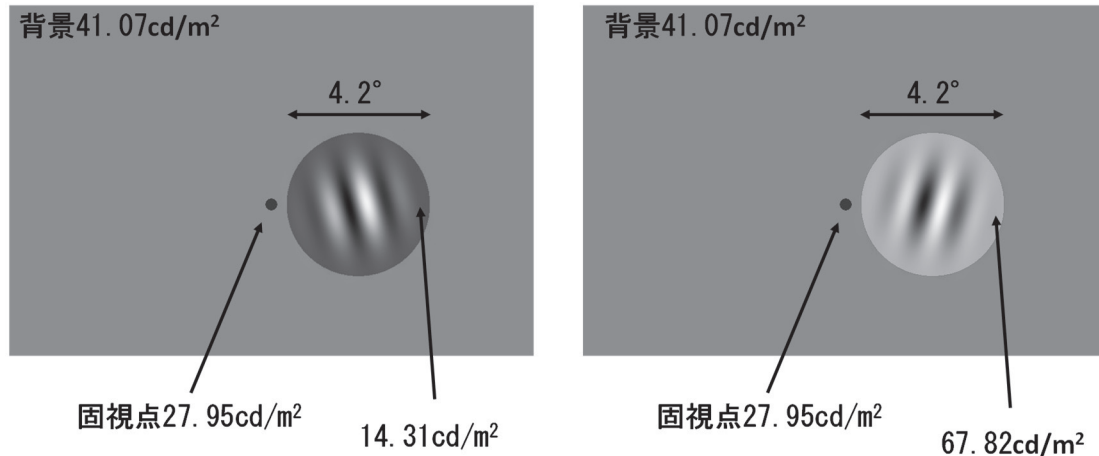


図2 暗条件が反時計回り(-15°), 明条件が時計回り(+15°)の順応刺激例 (実験1)

Aurora R7)を使用した。

(3)刺激

順応刺激, テスト刺激には, ガボールパッチを使用した。順応刺激例を図2に示す。ガボールパッチは空間周波数4.0 サイクル/°で直径4.0° (3SD), 輝度コントラスト100%に設定し, 中央に呈示した固視点(27.95cd/m², 直径0.3°)から中心間距離で2.3°右に呈示した。ガボールパッチの周りを円形の枠(外形4.2°)で囲み, 円形内の輝度条件は, 順応期では14.31cd/m²(暗条件)または67.82cd/m²(明条件)に設定した。ガボールパッチの傾きは, 垂直方向を0°として時計回り, または反時計回りに15°傾けた。テスト期では円形内の輝度について, 14.31cd/m², 27.69cd/m², 41.07cd/m², 54.45cd/m², 67.82cd/m²の5つの輝度条件を用いた。またガボールパッチの傾きは, 垂直方向を0°として反時計回りに2.5°(-2.5°)から時計回りに2.5°(+2.5°)まで0.5°間隔で傾けた11条件を用いた。背景輝度は41.07cd/m²に設定した。

(4)手続き

ディスプレイとの視距離を100cmに設定し, 暗室で実験を行った。ディスプレイ中央に黄色の固視点(27.95cd/m², 直径0.3°)を呈示し, 固視させた。実験は順応期・テスト期の順に行った。順応期では, 時計回り, または反時計回りに15°傾けた順応刺激を3000msずつ交互に呈示し, 3分間順応を行った。被験者を半分に分け, 被験者KU, MAには反時計回りに傾けた順応刺激の周りの円形内の輝度を暗条件, 時計回りに傾けた順応刺激の周りの円形内の輝度を明条件に設定し, 被験者CI, MKには逆の組み合わせに設定した。テスト期では, テスト刺激を200ms呈示しテスト刺激が時計回りと反時計回りのどちらに傾いているかを答えさせた。試行間隔は500msに設定した。テスト刺激は, 輝度5条件, 角度11条件の計55条件でランダム順による27条件または28条件を1ブロックとし, 順応期とテスト期を計20回行い, 各条件を10回繰り返した。

(5)倫理的配慮

本研究は, 本学健康医療科学部倫理委員会の承認を得て実施した(承認番号 健視倫理 2020-05 号)。

2.3 結果と考察

テスト刺激の傾きが時計回りに知覚された反応確率について, 分析を行った。被験者の時計回り反応確率について輝度条件と角度条件の2元配置分散分析を行った結果, 輝度条件ですべての被験者に主効果が認められた(KU($F(4,495)=38.059$, $p<.001$), MA($F(4,495)=8.622$, $p<.001$), CI($F(4,495)=19.980$, $p<.001$), MK($F(4,495)=2.491$, $p<.001$)). 被験者4名の輝度条件と時計回り反応確率の関係について図3に示す。多重比較の結果, 14.31cd/m², 27.69 cd/m²と54.45 cd/m², 67.82 cd/m²で有意差が認められ, 順

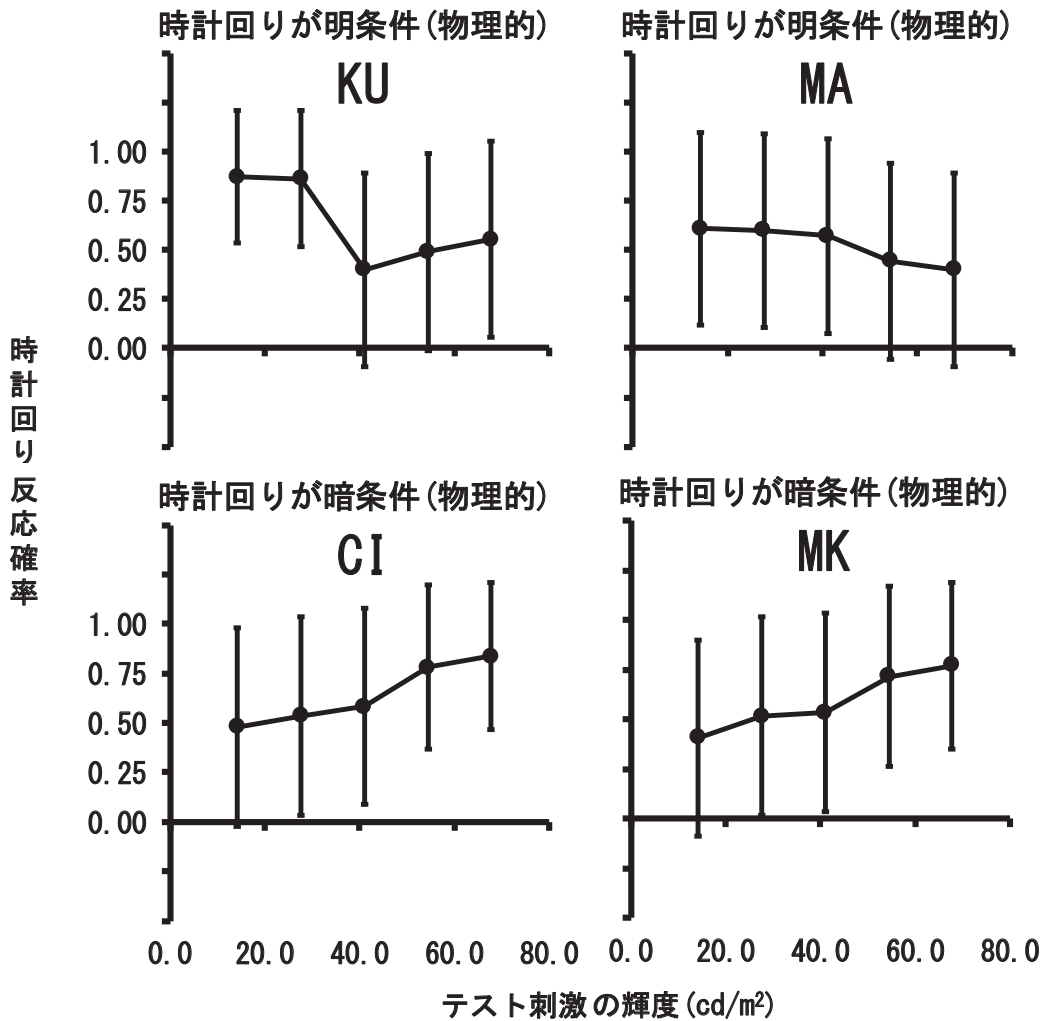


図3 被験者4名のテスト刺激の輝度条件と反応確率の関係(実験1)

応期で時計回りが明条件であった KU, MA では 14.31cd/m², 27.69 cd/m²すなわちテスト刺激の輝度が低い条件で時計回り反応確率が高く, 時計回りが暗条件であった CI, MK では 54.45 cd/m², 67.82 cd/m²すなわちテストの輝度が高い条件で時計回り反応確率が高いことが示された。したがって, いずれの被験者においても刺激周辺の物理的明るさに随伴して傾き残効が生じることが示された。また, テスト刺激の輝度が順応刺激と等しい時(暗条件; 14.31cd/m², 明条件; 67.82cd/m²)だけでなく, 順応刺激と背景輝度の中間の輝度条件でも随伴効果が示された。

テスト刺激の角度条件の主効果を検討した結果, すべての被験者に主効果が認められた (KU($F(10,495)=19.968, p<.001$), MA($F(10,495)=59.165, p<.001$), CI($F(10,495)=30.735, p<.001$), MK($F(10,495)=21.373, p<.001$)). 被験者4名のテスト刺激の角度条件と時計回り反応確率の関係について図4に示す。被験者4名の多重比較の結果, テスト刺激の角度の増加に伴い, 時計回り反応確率が上昇することが示された。

時計回りに傾いた順応刺激と同じ明るさのテスト刺激を呈示する条件を時計回り条件, 反時計回りに傾いた順応刺激と同じ明るさのテスト刺激を呈示する条件を反時計回り条件とし, 背景輝度と同じ明るさ(41.07cd/m²)のテスト刺激を呈示する条件をフレーム無し条件とした。KU, MA は時計回りに傾いた順応刺激は明条件(67.82cd/m²), 反時計回りに傾いた順応刺激は暗条件(14.31cd/m²)としたため, 明条件を時計回り条件, 暗条件を反時計回り条件とした。一方, CI, MK は暗条件を時計回り条件, 明条件を反時計回り条件とした。図5に被験者4名の時計回り条件, 反時計回り条件, フレーム無し条件の時計回り反応確率を示す。時計回り反応確率は, 反時計回り条件では高く, 時計回り条件では低かった。したがって, 刺激周辺の物理的明るさに随伴して傾き残効が生じることが示された。この結果は Over et al. (1974)によって得られた傾きによる明るさ残効について Frisby (1979) が述べたように逆転が

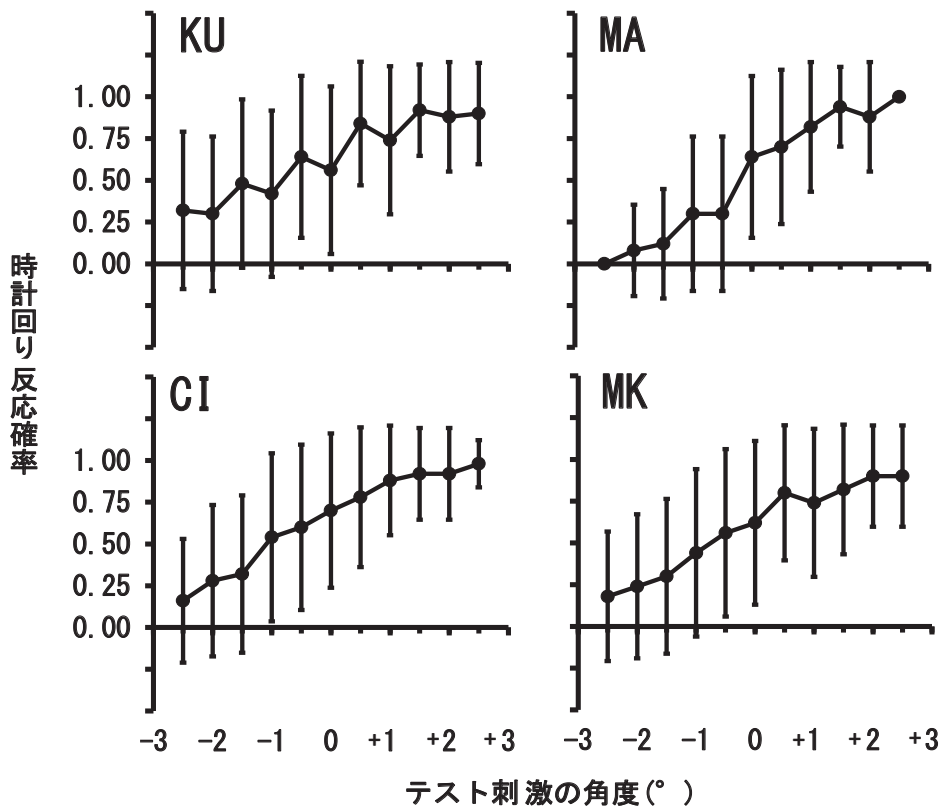


図4 被験者4名のテスト刺激の角度条件と反応確率の関係(実験1)

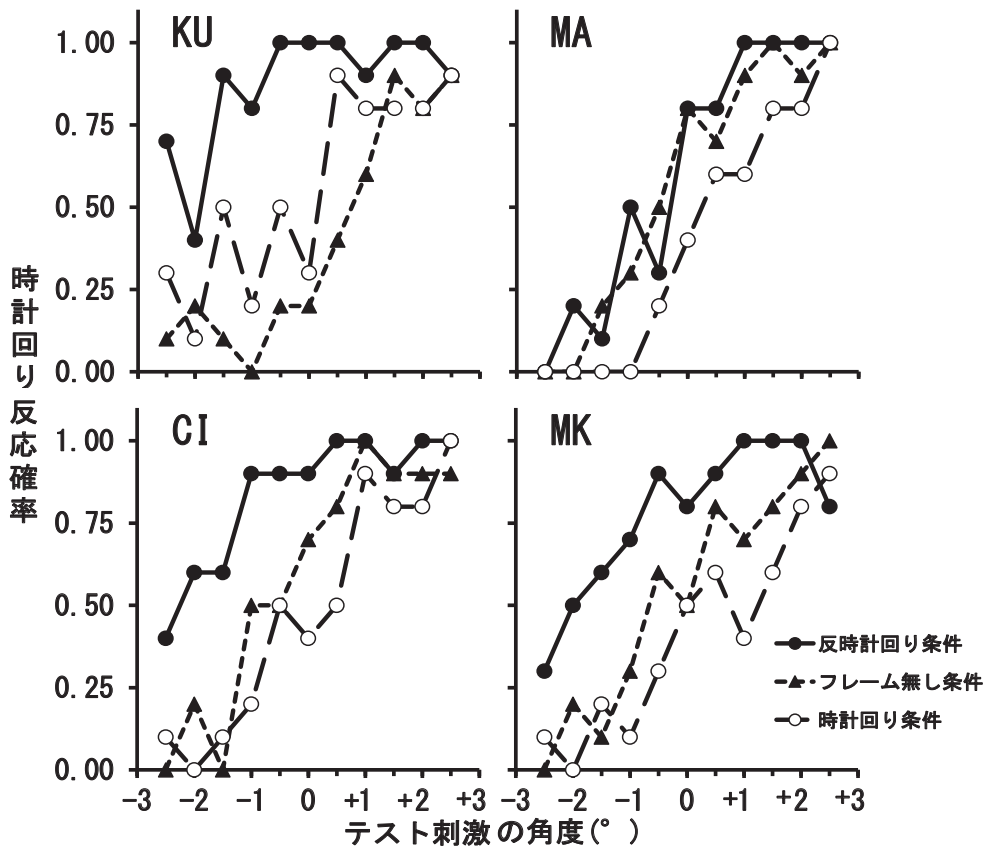


図5 テスト条件別の角度条件と時計回り反応確率の関係(実験1)

成立し、明るさによる傾き残効が生じたことを示す。また、刺激周辺の明るさに随伴したことは Nakashima & Sugita (2014)の結果を支持し、空間的に離れた視覚属性による随伴が生じたことを示すと考えられる。

3. 実験2 傾き残効における刺激周辺の知覚的明るさの影響

3.1 目的

実験1では、順応刺激の周辺の物理的輝度を変化させ、傾き残効が周辺の物理的な明るさに随伴するかについて検討した。実験2では、順応刺激の周辺の物理的輝度は変化させず、背景の輝度を変化させることによる対比効果により周辺の知覚的明るさを変化させ、傾き残効における刺激周辺の知覚的な明るさの随伴効果を検討する。知覚的明るさは、実験1で用いた順応刺激の円形内輝度と同じ明るさに知覚されるように背景輝度を調整させて求めた背景輝度を使用した。

3.2 方法

(1)被験者

心理実験の経験のある矯正視力 1.0 以上の女子大学生 4 名(平均年齢 22±0 歳)とした。

(2)装置

実験1と同様の装置を使用した。

(3)刺激

実験1と同様の順応刺激、テスト刺激を用いた。ただし、順応刺激の円形内の輝度は 41.07cd/m^2 に固定し、各被験者に円形内の輝度が 41.07cd/m^2 の時に実験1の明条件・暗条件の円形の明るさと同じ明るさに知覚されるように調整法にて背景輝度を求め、被験者ごとに求めた背景輝度を順応期の背景輝度に用いた。順応刺激例を図6に示した。

(4)手続き

実験1と同様の手続きで実験を行った。被験者 CI, MA は反時計回りに傾けた順応刺激の周りの円形内の知覚的明るさを暗条件、時計回りに傾けた順応刺激の周りの円形内の知覚的明るさを明条件に設定し、被験者 KU, AK は逆の組み合わせに設定した。

(5)倫理的配慮

本研究は、本学健康医療科学部倫理委員会の承認を得て実施した(承認番号 健視倫理 2020-05 号)。

3.3 結果と考察

テスト刺激の傾きが時計回りに知覚された反応確率について分析を行った。被験者別の時計回り反応確率についての輝度条件と角度条件の2元配置分散分析の結果、輝度条件ですべての被験者に主効

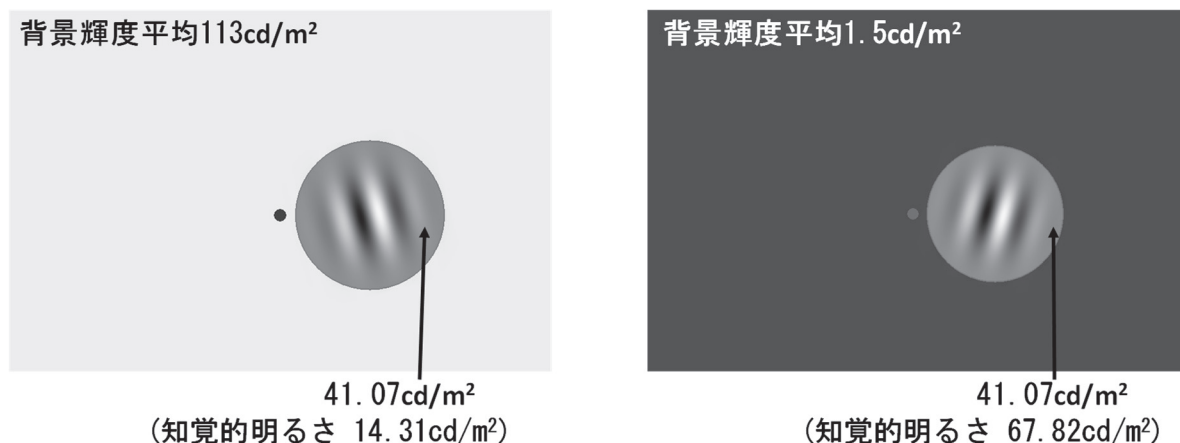


図6 暗条件が反時計回り(-15°)、明条件が時計回り(+15°)の順応刺激例(実験2)

果が認められた(CI($F(4,495)=19.108, p<.001$), MA($F(4,495)=37.123, p<.001$), KU($F(4,495)=25.829, p<.001$), AK($F(4,495)=38.546, p<.001$)). 被験者4名の輝度条件と時計回り反応確率の関係について図7に示す。多重比較の結果、 14.31cd/m^2 , 27.69cd/m^2 と 54.45cd/m^2 , 67.82cd/m^2 で有意差が認められ、順応期で時計回りが明条件であったCI, MAでは 14.31cd/m^2 , 27.69cd/m^2 , すなわちテスト刺激の輝度が低い、または暗条件と等しい条件で反応確率が高く、時計回りが暗条件であったKU, AKでは 54.45cd/m^2 , 67.82cd/m^2 , すなわちテスト刺激の輝度が高い、または明条件と等しい条件で反応確率が高いことが示された。したがって、いずれの被験者においても刺激周辺の知覚的明るさに随伴して傾き残効が生じることが示された。また、テスト刺激の明るさが順応刺激の知覚的明るさと等しい時(暗条件; 14.31cd/m^2 , 明条件; 67.82cd/m^2)だけでなく、順応刺激の明るさとテスト期の背景輝度の中間の輝度条件でも随伴効果が示された。

テスト刺激の角度条件の主効果を検討した結果、すべての被験者に主効果が認められた(CI($F(10,495)=50.110, p<.001$), MA($F(10,495)=35.441, p<.001$), KU($F(10,495)=25.324, p<.001$), AK($F(10,495)=51.442, p<.001$)). 被験者4名のテスト刺激の角度条件と時計回り反応確率の関係について図8に示す。被験者4名の多重比較の結果、テスト刺激の角度の増加に伴い、時計回り反応確率が上昇することが示された。

時計回りに傾いた順応刺激と同じ知覚的明るさのテスト刺激を呈示する条件を時計回り条件、反時計回りに傾いた順応刺激と同じ知覚的明るさのテスト刺激を呈示する条件を反時計回り条件とし、背景輝度と同じ明るさ(41.07cd/m^2)のテスト刺激を呈示する条件をフレーム無し条件とした。CI, MAは時計回りに傾いた順応刺激は明条件(知覚的明るさ 67.82cd/m^2)、反時計回りに傾いた順応刺激は暗条件(知覚的明るさ 14.31cd/m^2)としたため、明条件を時計回り条件、暗条件を反時計回り条件とした。一方、KU, AKは暗条件を時計回り条件、明条件を反時計回り条件とした。図9に被験者4名の時計回り条件、反時計回り条件、フレーム無し条件の時計回り反応確率を示す。時計回り反応確率は、反時計回り条件では高く、時計回り条件では低かった。したがって、刺激周辺の知覚的明るさに随伴して傾き残効が生じることが示された。

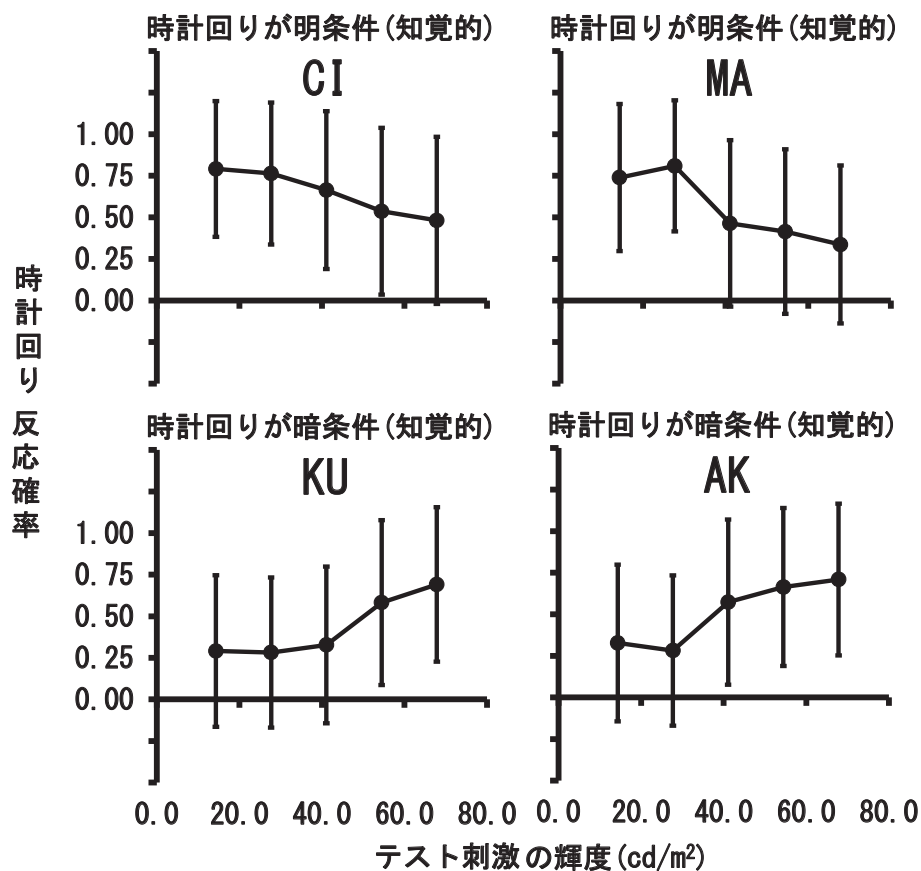


図7 被験者4名のテスト刺激の輝度条件と反応確率の関係 (実験2)

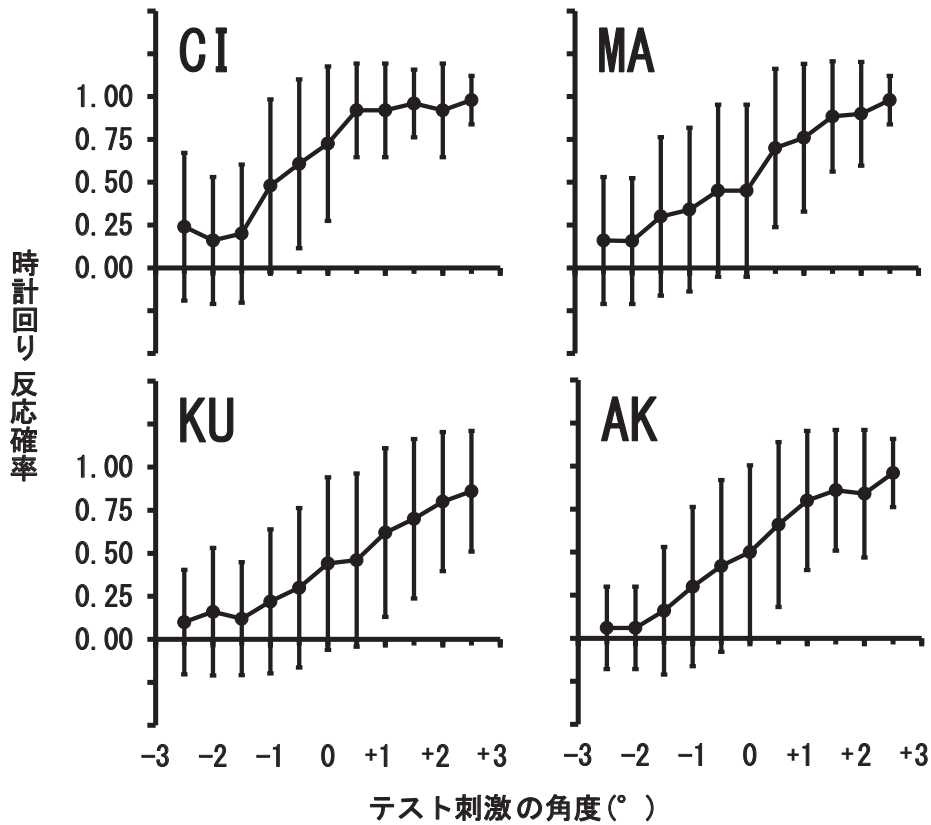


図8 被験者4名の角度条件と反応確率の関係 (実験2)

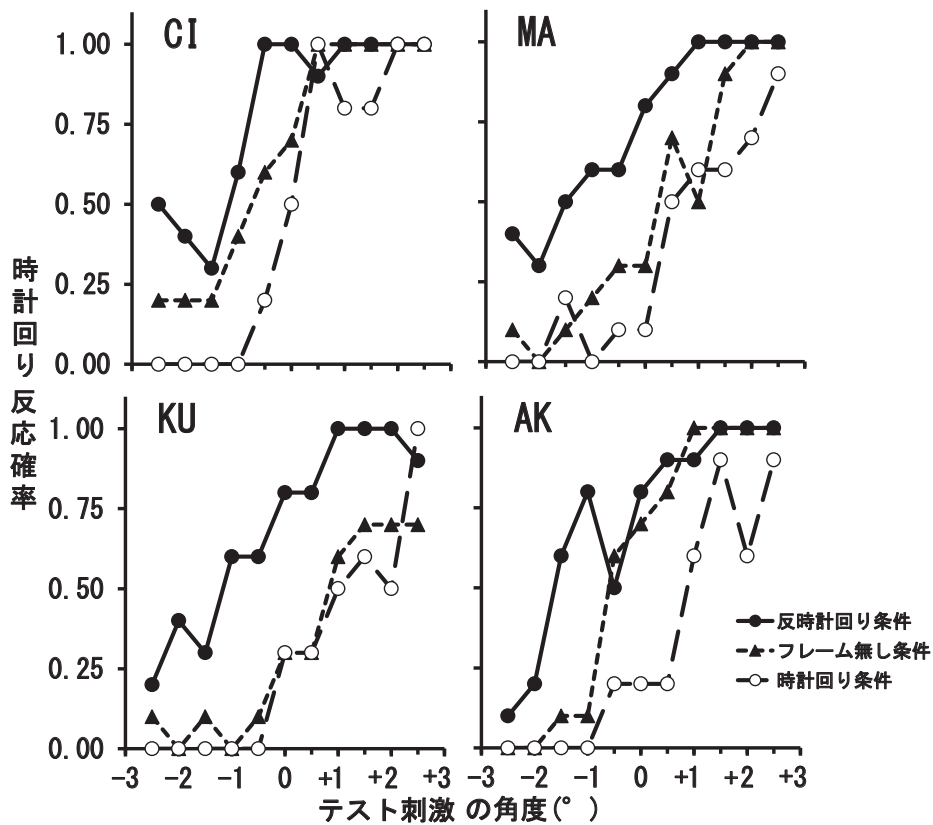


図9 テスト条件別の角度条件と時計回り反応確率の関係 (実験2)

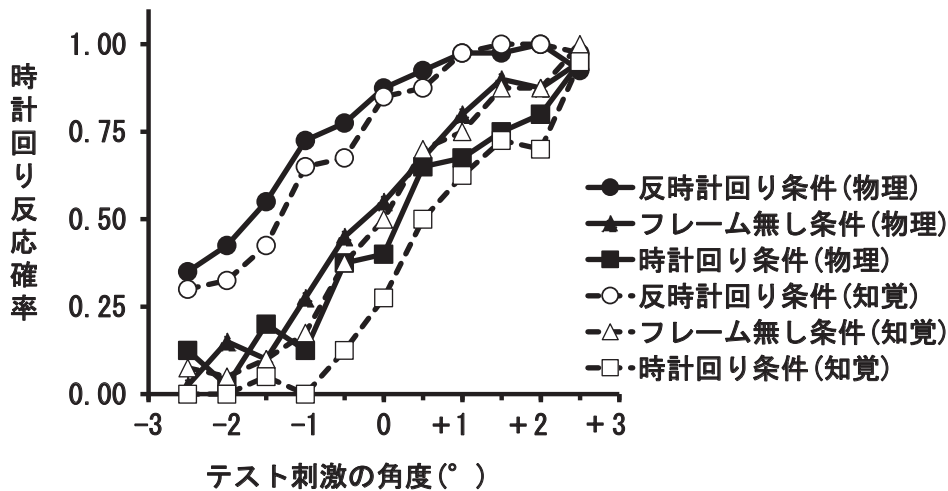


図 10 物理的明るさ(実験 1)および知覚的明るさ(実験 2)における
順応刺激の傾き条件別の角度条件と時計回り反応確率の関係

刺激周辺の円形内の物理的明るさの随伴効果と知覚的明るさの随伴効果を比較するため、物理的明るさ条件(実験 1: 図 5)および知覚的明るさ条件(実験 2: 図 9)の被験者全員について順応刺激の傾き条件別のテスト刺激の角度条件と時計回り反応確率の関係を図 10 に示す。図 10 から、いずれも時計回り反応確率は反時計回り条件の方が高く、刺激周辺の物理的明るさ、知覚的明るさに随伴して傾き残効が生じることが示された。単純主効果検定を行った結果、全ての角度条件で順応刺激の傾き条件間の物理的明るさ条件と知覚的明るさ条件の間に有意差は認められず、刺激周辺の物理的明るさによる随伴効果と知覚的明るさによる随伴効果に差は無いことが示された。

4.総合考察

本実験では、傾き残効における周辺の物理的明るさ、および知覚的明るさの随伴効果を検討した。実験 1、実験 2 より、時計回りに傾いた順応刺激の周辺の円形と同じ明るさの円形をテスト期で呈示した時計回り条件では時計回り反応確率は低く、反時計回りに傾いた順応刺激の周辺の円形と同じ明るさの円形をテスト期で呈示した反時計回り条件では時計回り反応確率は高かった。順応刺激の周辺の明るさとテスト刺激の周辺の明るさが等しい時、テスト刺激は順応刺激の傾きと逆方向に知覚されたことから、傾き残効は周辺の明るさに随伴することがわかった。

さらに、テスト刺激の円形の明るさが、順応刺激の円形の明るさとテスト期の背景輝度との中間の場合にも随伴効果が認められた。したがって、テスト刺激の周辺の明るさが等しい時だけでなく、順応刺激の周辺の物理的明るさおよび知覚的明るさとテスト期の背景輝度の中間の明るさであっても随伴効果が得られることがわかった。このことは、随伴効果が順応刺激と同一のものに限らず、順応刺激と類似した刺激に対しても生じることが示す。

Over et al. (1974) は明るさ残効が傾きに随伴することを報告しており、Nakashima & Sugita (2014) は傾き残効が周辺刺激に随伴することを示した。本研究では、周辺刺激の明るさに傾き残効が随伴すること、さらに傾き残効は周辺刺激の明るさが物理的明るさの場合(実験 1)と同様に、知覚的明るさの場合(実験 2)によっても随伴し、両者に差がないことを示した。随伴性残効のメカニズムは 2 つの視覚特徴の連合により生じるという考え(Barlrow, 1990) と、もともと 2 つの視覚特徴に同時に選択性を持つ神経細胞の順応により生じるという考え(McCollough, 1972)が報告されている。刺激の周辺情報による随伴性残効では、組み合わせる 2 つの視覚特徴が刺激自体に属さず、空間的に離れている。そのため、Nakashima & Sugita (2014)によると、もし残効が順応刺激の周辺に呈示する情報に随伴するならば、それは異なる受容野を持つ別の神経細胞同士が結合することによって生じると考えられ、2 つの視覚特徴に選択性を持つ単一の神経細胞の順応によっては説明できない。本研究における結果も、順応刺激周辺の情報により随伴効果が得られたため、随伴性残効は 2 つの視覚特徴の連合によって生じる考えを支持するものである。さらに、輝度による物理的明るさと対比に基づく知覚的明るさによる随伴効果に差が無かったことはこの随伴性残効が高次のレベルで生じている可能性を示唆する。

5.引用文献

- Barlow, H. (1990). A theory about the functional role and synaptic mechanism of visua after-effects. In C. Blakemore (Ed.), *Vision: Coding and efficiency* (pp. 363–375). Cambridge: Cambridge University Press.
- Frisby J. (1979). *Seeing: illusion, Brain and Mind*. Oxford University Press. (フリスビー J. 村山久美子(訳) (1982). シーイング 錯視 脳と心のメカニズム 誠信書房)
- McCullough, C. (1965). Color adaptation of edge-detectors in the human visual system. *Science*, **149**, 1115–1116.
- Nakashima, Y., & Sugita, Y. (2014). Surround-contingent tilt aftereffect. *Journal of Vision*, **14**(14), 1-6.
- Over, R., Broerse, J., Crassini, B. and Lovegrove, William.(1974). Orientation-specific aftereffects and illusions in the perception of brightness. *perception & psychophysics*, **15**,53-56.

(2021年 1月 22日 受付)
(2021年 2月 15日 受理)