健康医療科学研究　第 12 号　2022　pp. 19 － 27
［原著論文］

両眼分離呈示における Troxler 刺激を用いた消失現象の検討

—両眼視野闘争及び点滅の効果—

不破京香 1)・髙橋伸子 2)

Examination of disappearance phenomenon using troxler stimulus in dichoptic presentation

—Binocular rivalry and the effect of flashing—

Kyoka FUWA and Nobuko TAKAHASHI

両眼分離呈示における Troxler 刺激を用いた消失現象において，Lou(2008)は Troxler 効果を生じるターゲットを単眼呈示したところ，消失潜時が両眼呈示されるよりも短くなることを示し,また Simons et al. (2006)は点滅刺激によりターゲットの消失を促進するという効果を示した。そこで両眼視野闘争および点滅による効果を検討するために，両眼分離呈示下で左右眼の背景色を変え，点滅刺激の時間周波数を変化させて，消失潜時と消失時の知覚されている背景色について検討した。実験の結果，(1)ターゲットの単眼呈示では Troxler 効果によるターゲットの消失だけではなく両眼視野闘争による抑制によっても消失していること, (2)点滅刺激がターゲットの消失を促進すること,そして(3)点滅していなくても高コントラストの刺激呈示によりターゲットの消失が促進されることが明らかになった。

Keywords：トロクスラー効果，消失，点滅刺激，両眼視野闘争
Troxler effect , fading, Flashing disks，binocular rivalry

1. はじめに

背景輝度と輝度が近似した，境界の不明瞭な刺激を周辺視野に置くと，時間とともに消えていくように見える現象を Troxler 効果という(北岡,2013)。Troxler 効果には順応が関係していると考えられている。静止した画像を一定時間固視するとどの視細胞も全く反応しなくなり，画像の情報が得られなくなる。視細胞は画像のそれぞれの局所位置への入力の時間的平均値に基づいて感度調節を行っているため，順応が完了した時点で静止画に対する各視細胞の応答レベルはほぼ同じとなり，色の違いは検出できなくなる（花沢,2007）。この順応の働きにより Troxler 効果が生じると考えられる。

1.1 ターゲット呈示眼条件による効果の違い

Lou(2008)は，　Troxler 効果を生じるターゲット刺激を両眼呈示した場合，両眼加算による両眼間の相乗効果により，一方の眼に Troxler 効果が生じると反対眼の Troxler 効果も促進され単眼呈示よりもターゲットの消失時間が短くなると考えた。そこでターゲット刺激を用い，単眼呈示条件と両眼呈示条件における消失時間と消失持続時間について測定し，Troxler 効果に関わる両眼加算のメカニズムについて明らかにした。図 1 に Lou (2008) の用いた刺激構成，図 2 にその結果を示す。図 2 からターゲットが知覚的に消失するまでの時間（消失潜時:latency）は左右眼の単眼呈示条件と両眼呈示条件で有意差(p<.05)があり，両眼呈示条件の方が有意に長いことが示され。この結果は両眼呈示条件において一方の眼に Troxler 効果が生じても反対眼のターゲットの消失は促進されず予測とは単眼条

※本研究は愛知淑徳大学健康医療科学部視覚科学専攻研究倫理委員会研究倫理審査の承認を得て実施された(承認番号　健視倫理 2021-15 号)。

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

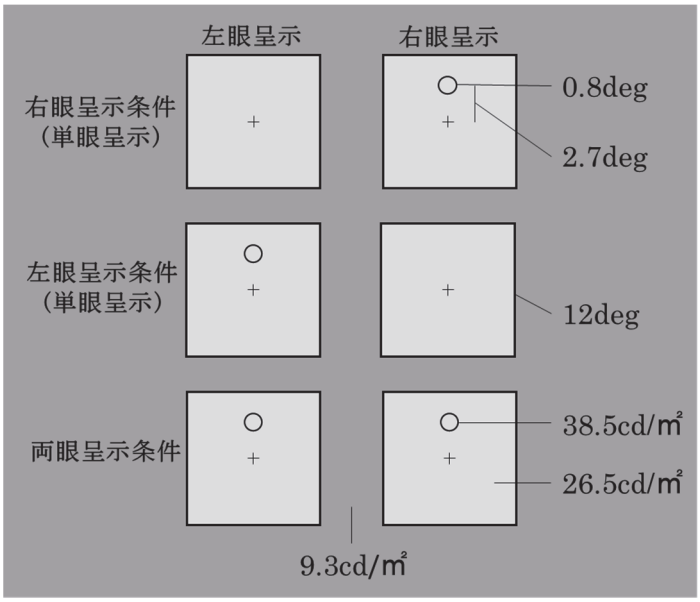

図 1　Lou (2008) が使用した刺激構成（○が Troxler 刺激）

件の消失潜時の方が短くなった結果について Lou (2008) は，逆に反対眼からの視野闘争にいる抑制によって単眼呈示条件の消失潜時が短くなった可能性が示唆された。

単眼呈示条件間では左右眼に有意差がなく眼優位性は Troxler 効果に影響を及ぼさないことが示され，また，刺激が知覚的に消失してから再び出現するまでの時間（消失持続時間:duration）ついては，すべての条件間で有意差は認められなかった。

1.2 点滅刺激が Troxler 効果に与える影響

ターゲットの消失に関わる現象として過渡的刺激による消失(transient induced fading; Simons, Lleras, Martinez-Conde, Slichter, Caddigan, & Nevarez ,2006)が知られている。Simons, Lleras, Martinez-Conde, Slichter, Caddigan, & Nevarez (2006)はローパスフィルターをかけたぼやけた風景画像をターゲット刺激とし，その上に過渡的刺激として高コントラストの黒色の点滅刺激(flashing disks)を重ね Troxler 効果による画像の消失率を測定した。

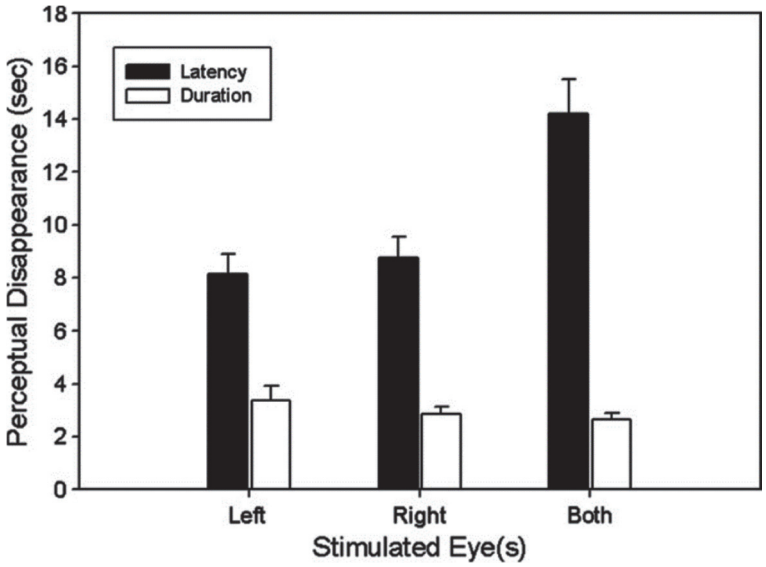

図 2　Troxler 効果における単眼呈示条件と両眼呈示条件における消失潜時および消失持続時間 (Lou,2008) (エラーバーは標準偏差)

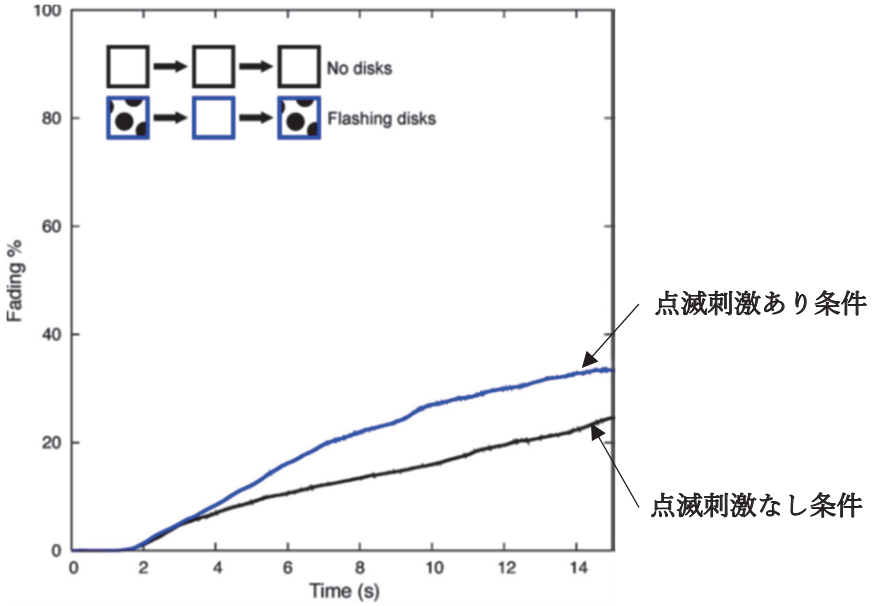

図 3　点滅刺激有無条件における刺激消失率の試行時間に伴う変化
(Simons et al. (2006) の実験 1)

Simons et al. (2006)の実験 1 で用いた点滅刺激は 2 Hz で画像全体のランダムな位置に呈示された。Simons et al. (2006)の実験 1 の結果を図 3 に示した。図 3 から，点滅刺激がない条件に比べ点滅刺激がある条件で時間経過に伴って消失率が有意に高くなることが示され，点滅刺激が Troxler 効果におけるターゲットの消失を促進することが明らかになった。

Simons et al. (2006)の実験 2 では実験 1 と同じ黒色の刺激を用いたが点滅させず，黒色刺激呈示の開始・終了が消失率に及ぼす影響を調べた。実験 2 の結果を図 4 に示した。図 4 から，黒色刺激を試行開始後 10 秒間呈示した後に消す Removed disks 条件において，黒色刺激が消えた直後にターゲットの消失率が高くなった。一方，黒色刺激を試行開始 10 秒後から呈示し始める Added disks 条件では試行開始 10 秒後のターゲットの消失率に顕著な変化はみられなかった。このことから刺激の点滅において刺激の出現ではなく刺激の消失がターゲットの消失を促進していることが示された。

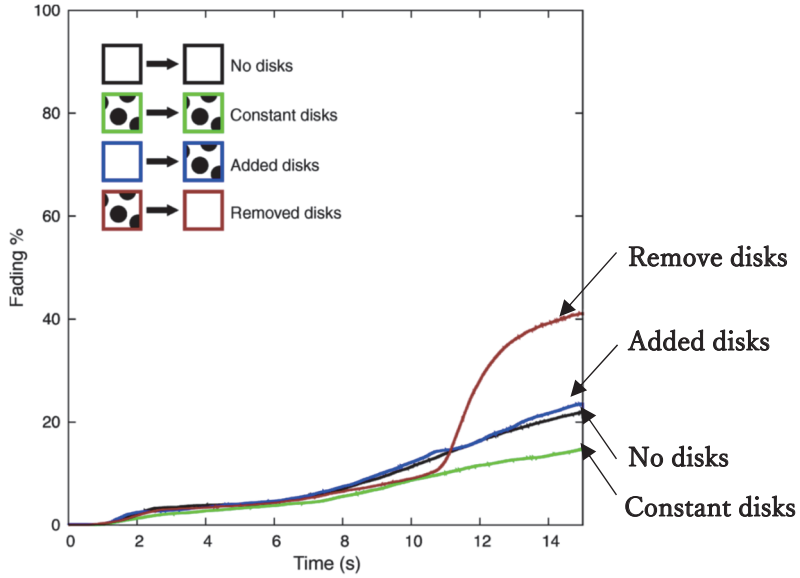

図 4　挿入刺激の各条件における刺激消失率の試行時間に伴う変化
(Simons et al. (2006)の実験 2)

1.3 問題提起

Lou (2008) が行った実験では両眼呈示条件と単眼呈示条件での消失潜時に有意差があり，単眼呈示条件で消失潜時が短いことが示された。両眼呈示条件では Troxler 効果によってターゲットが消失したと考えることができるが，単眼呈示条件では 2 つの理由によるターゲットの消失が考えられる。一つは単眼のみでの Troxler 効果によるターゲットの消失，もう一つはターゲットが呈示されていない反対眼からの抑制（視野闘争）によるターゲットの消失である。2 つの理由のどちらによるものか明らかにするため，本研究においては両眼分離呈示する左右の刺激の背景色を変え，Troxler 効果が生じたときの背景色を測定することにより視野闘争による抑制による消失を Troxler 効果による消失から分離し，Lou (2008) の結果について検討する。

また Simons et al. (2006)は点滅刺激によりターゲットの消失が促進される結果を示したが，点滅刺激の時間周波数が 2Hz に固定されていた。そこで本研究においては時間周波数を変化させた点滅刺激の条件を設定し，時間周波数の違いがターゲット刺激消失に与える効果についても検討する。

2. 実験

2.1 目的

単眼呈示条件におけるターゲットの消失が，ターゲット呈示眼における Troxler 効果によるものなのか，視野闘争による反対眼からの抑制によるものなのか明らかにするため，両眼の背景色として灰色および灰色と等明るさの黄色を用いることにより左右眼の背景色を変え，刺激消失時の呈示眼を明らかにする。また時間周波数を変化させた点滅刺激の条件を設定し，時間周波数の違いがターゲット刺激消失に与える影響についても明らかにする。

2.2 方法

ⅰ　被験者

両眼視機能が正常な 22 歳の女子大学生 4 名を被験者とした。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 2021-15 号)。

ⅱ　装置・刺激

刺激は PsychoPy (3.0.3) で作成し，解像度 1920×1200pix，リフレッシュレート 60Hz の液晶モニター(EIZO, FlexScanSX2462W)に呈示した。

図 5　実験で使用した両眼分離実体鏡を組み込んだ両眼分離観察装置

刺激の観察には図 5 に示した反射式実体鏡装置(SOKIA MS16) を組み込んだ両眼分離観察装置と観察距離の位置に固定した顎台(竹井機器工業顎台 TKK930a)とを組み合わせて用いた。

両眼分離呈示下での刺激の配置を図 6 に示した。Troxler 効果を生じるターゲット刺激は最高輝度 38.5cd/㎡，大きさ 3SD=0.8deg のガウス刺激とした。ターゲット刺激は一辺が 12deg の正方形の中心に位置する黒色の固視点から 2.7deg 離れた位置に 4 つ配置した。背景の正方形の輝度は 26.5cd/㎡の灰色と，各被験者が灰色と等明るさに感じる輝度の黄色を交照法によって決定し，片眼に灰色，反対眼に黄色を呈示した。ターゲットの背景色条件は，ターゲット呈示眼の背景色で，黄色条件・灰色条件ではそれぞれの背景色の単眼，両眼条件では黄色・灰色の両背景にターゲットを呈示した。正方形の外側の背景輝度は 9.3cd/㎡であった。

点滅刺激は直径 1.0deg，輝度 6.4cd/㎡の黒色の円を使用した。片眼に 8 個，両眼で計 16 個ずつターゲット刺激に重ならないように両眼で対応したランダムな位置に試行ごとに呈示した。点滅刺激の時間周波数は 0Hz(点滅しない)，1.3Hz，2Hz，4Hz と統制条件として刺激なしの条件で行った。

iii　実験条件

独立変数として，ターゲットの背景色（黄色，灰色，両眼の 3 水準），刺激点滅（時間周波数が 0Hz(点滅しない)，1.3Hz，2Hz，4Hz，刺激なし，の 5 水準)，黄色背景呈示眼（右眼，左眼の 2 水準）の 3 条件を設定した。

iv　手続き

実験は暗室で行い，モニターからの観察距離が 57.3cm となる位置に両眼分離実体鏡を組み込んだ両眼分離観察装置を設置し，実験を行った。space キーにより実験を開始し，被験者に固視点を見て，4 つのターゲット刺激のうち 1 つでも消えたら反応キーで報告するように指示した。反応キーは正方形の色が黄色のときに消えたら left キー，灰色のときに消えたら right キー，黄色と灰色が混合したときに消えたら space キーで反応することを求めた。試行時間は無制限でターゲット刺激が消えるまで行った。被験者が反応キーを押し，消えたときの正方形の色を反応色，消えるまでの時間を消失潜時とした。1 試行終了後に被験者が再び space キーを押すと 3 秒後に次の試行が開始された。ターゲットの背景色条件の 3 水準，刺激点滅条件の 5 水準，黄色背景呈示眼条件の 2 水準を総当たりで組み合わせた実験条件をランダムな順序で 15 回繰り返し，計 450 試行の測定を行った。

分析の際は反応キーでの反応色をもとに，黄色は−1，混色は 0，灰色は 1 とし，「反応色値」として数値化した。

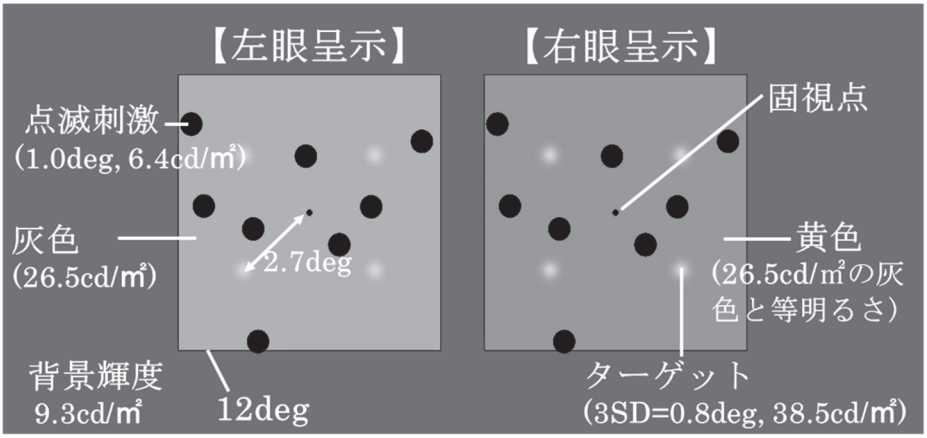

図 6　両眼条件における刺激構成の例

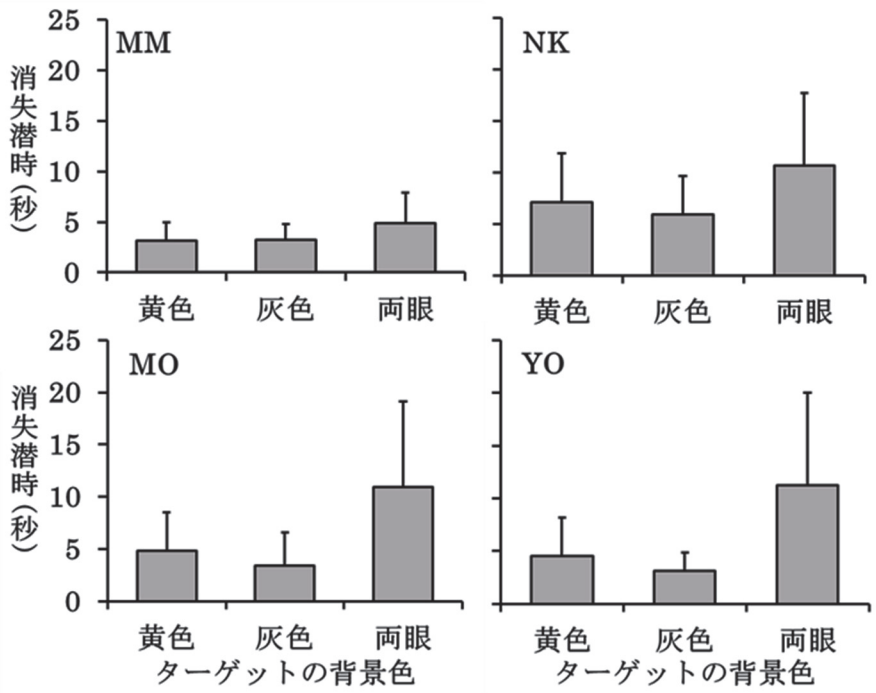

図 7　被験者の各ターゲットの背景色条件における消失潜時（エラーバーは標準偏差）

2.3 結果

消失潜時を従属変数とするターゲットの背景色条件(3 水準)，点滅刺激条件(5 水準)，黄色呈示眼条件(2 水準)について 3 要因分散分析を行った結果，全ての被験者について，ターゲットの背景色条件の主効果が認められた（MM: $F(2,499)=63.518$, $p<.001$, NK: $F(2,449)=46.211$, $p<.001$, MO: $F(2,449)=127.861$, $p<.001$, YO; $F(2,449)=154.306$, $p<.001$)。図 7 に被験者の各ターゲットの背景色条件における消失潜時の関係を示した。図 7 より全ての被験者で両眼条件において消失潜時が最も長くなる傾向がみられ，多重比較の結果，両眼条件と黄色条件および灰色条件との間で有意差が認められ，消失潜時は単眼条件(黄色・灰色)よりも両眼条件で長くなることが示された。

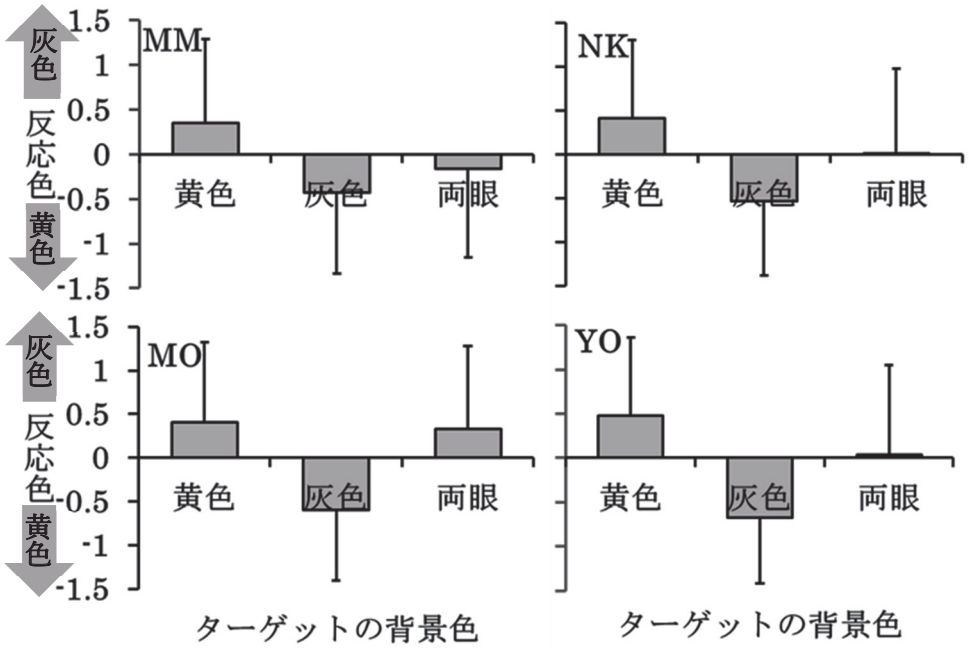

図 8　各被験者の各ターゲットの背景色条件における反応色値（エラーバーは標準偏差）

反応色値を従属変数とするターゲットの背景色条件(3 水準)，点滅刺激条件(5 水準)，黄色呈示眼条件(2 水準)について 3 要因分散分析を行った結果，全ての被験者について，ターゲットの背景色のみ主効果が認められた (MM: $F(2,449)=25.689$, $p<.001$; NK: $F(2,449)=40.774$, $p<.001$; MO: $F(2,449)=59.701$, $p<.001$; YO: $F(2,449)=62.744$, $p<.001$)。図 8 に被験者の各ターゲットの背景色条件における反応色値を示した。図 8 より全ての被験者で黄色条件の反応色値は正の値(灰色方向)，灰色条件の反応色値は負の値(黄色方向)，両眼条件の反応色値は-0.5～+0.5 の値(中間)になり,灰色条件では−側(黄色)で他の 2 条件より反応色値が小さく，黄色条件では+側(灰色)で他の 2 条件より反応色値が大きいことが示された。多重比較の結果，被験者 MM・NK・YO は両眼条件での反応色値が約 0 であったため灰色，両眼，黄色の順で有意に反応色値が大きくなることが示され，被験者 MO は両眼条件での反応色値が+側(灰色)であったため，黄色条件との間に有意差がなく，灰色条件で両眼・黄色に比べて反応色値が有意に小さくなることが示された。このことからターゲットの単眼呈示条件(黄色および灰色条件)ではターゲット消失時の反応色はターゲット呈示眼の反対眼の背景色が観察されていることが示された。

点滅刺激条件については消失潜時を従属変数とする 3 要因分散分析の結果, 全ての被験者で 1.3Hz, 2.0Hz, 4Hz 間に差がなく最も短い時間になり次に点滅なし，刺激なしの順で消失潜時が長くなることが示された。また 3 名の被験者にターゲットの背景色条件と点滅刺激条件の交互作用が認められた (MM:$F(8,499)=7.152$,$p<.001$, MO:$F(8,499)=19.435$,$p<.001$, YO:$F(8,499)=23.326$,$p<.001$)。単純主効果検定を行った結果，黄色条件の主効果(MM: $F(4,420)=20.665$, $p<.001$; MO: $F(4,420)=2.429$, $p<.05$; YO: $F(4,420)=4.559$, $p<.01$)，灰色条件の主効果 (MM: $F(4,420)=25.691$, $p<.001$; MO: $F(4,420)=2.587$, $p<.05$)，両眼条件の主効果 (MM: $F(4,420)=84.439$, $p<.001$; MO: $F(4,420)=73.047$, $p<.001$; YO: $F(4,420)=101.148$, $p<.001$)が認められた。図 9 に各被験者の各ターゲットの背景色条件別の刺激点滅の時間周波数に伴う消失潜時の関係を示した。図 9 から，全ての被験者で両眼条件の刺

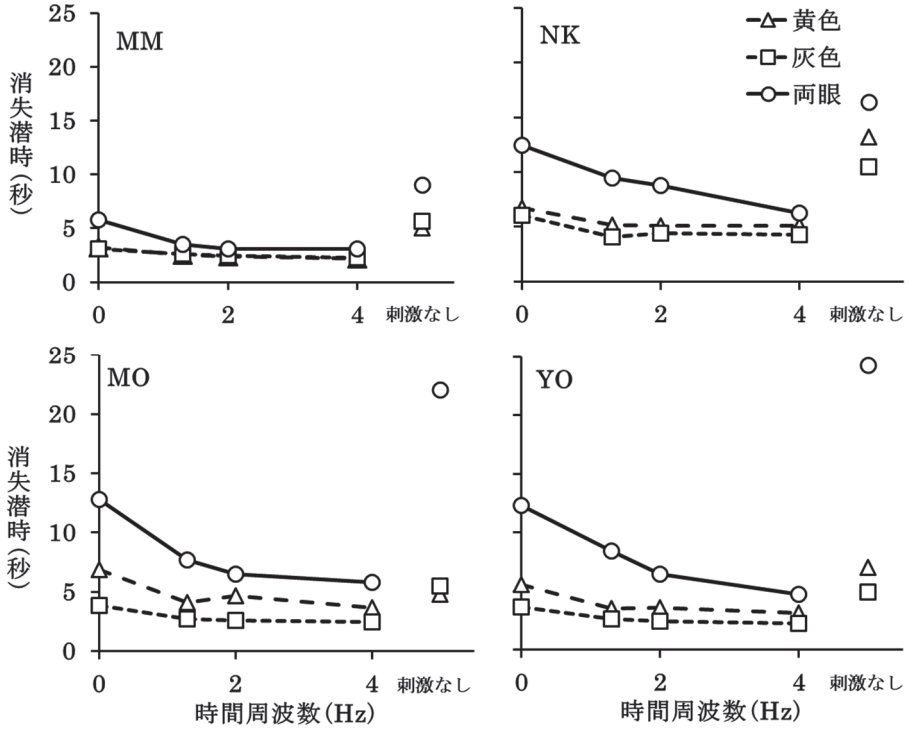

図 9　各被験者の各ターゲットの背景色条件別の刺激点滅の時間周波数に伴う消失潜時の関係

激なし条件の消失潜時が最も長くなる傾向が見られた。3 名の多重比較の結果，1.3Hz，2Hz，4Hz の条件間の消失潜時に差はないが最も短くなり，点滅なし条件，刺激なし条件の順で潜時消失が長くなることが分かった。一方で単眼（黄色・灰色）条件では各被験者で傾向が異なった。被験者 MM にお条件間の消失潜時に差はないが最も短くなり，点滅なし条件，刺激なし条件の順で潜時消失が長くなることが分かった。一方で単眼（黄色・灰色）条件では各被験者で傾向が異なった。被験者 MM においては，黄色条件と灰色条件では刺激なし条件が最も消失潜時が長くなり，その他の条件間には差がないことが示された。被験者 MO においては，黄色条件では 4Hz 条件が点滅なし条件よりも消失潜時が短くなることが示され，灰色条件では条件間に差はなかった。被験者 YO においては，黄色条件では 1.3Hz，2Hz，4Hz で刺激なし条件よりも消失潜時が短くなることが示され，灰色条件では，条件間に差はなかった。

2.4 考察

両眼分離呈示における Troxler 刺激を用いた消失現象について，両眼視野闘争および点滅による効果を検討するため，両眼分離呈示下で左右眼の背景色を変え，点滅刺激の時間周波数を変化させて，消失潜時と消失時の背景色である反応色値について検討した。実験の結果，消失潜時・反応色値のいずれの結果においても全ての被験者でターゲットの背景色条件間で有意差が認められ，消失潜時の結果から単眼呈示条件が両眼呈示条件よりも有意に消失潜時が短くなること，反応色値の結果から黄色条件では＋側（灰色），灰色条件では－側（黄色），すなわちターゲットが呈示されている反対眼の背景色でターゲットの消失が生じている回数が多いことが示された。消失潜時の結果は Lou（2008）の結果を支持するものであり，両眼呈示条件において一方の眼に Troxler 効果が生じた場合，反対眼のターゲットの消失を促進するという，両眼加算による相乗効果の可能性（Lou, 2008）は否定された。この結果は左右眼の背景色を変えて消失時の呈示眼を測定したことにより，反対眼の抑制によるものであることが明らかになり，単眼呈示条件では両眼視野闘争にもとづく反対眼の抑制により消失潜時が短くなったと解釈できる。また，単眼呈示条件における消失時に反対眼の背景色が知覚されていたという結果により，両方の眼に Troxler 効果が生じた場合しか Troxler 効果による消失が生じないため，単眼呈示条件より両眼呈示条件の方が消失潜時が長くなるという両眼の抑制的な相互作用による解釈の可能性も否定されると考えられる。

消失潜時については刺激点滅条件間での有意差が認められた。1.3Hz,2Hz,4Hz の点滅速度の条件間では消失潜時の差は認められなかったが，点滅なし(0Hz)や刺激なしの条件に比べて消失潜時が短いことが示された。このことから，刺激点滅は時間周波数に関わらず，ターゲットの消失に影響を与えること考えられる。Kanai & Kamitani (2003) はターゲットのディスクを囲むように瞬間的にトランジェントな視覚刺激を呈示するとターゲットが消失したように知覚されることを示し，金井（2008）はその現象について，既に成立している視覚の表象を一度リセットするオフセット・トランジェントによる知覚消失（tranjent-induced fading）が引き起こされることによると説明している。本研究においても点滅刺激の消失の際に，これまでに成立したターゲットの表象が崩壊し，点滅刺激の消失のみならず，ターゲットの知覚も消えてしまった可能性があると考えられる。

ターゲットの背景色条件と刺激点滅条件の消失潜時において交互作用に有意差が認められ，3 名の被験者に両眼呈示条件および単眼呈示条件での刺激点滅の単純主効果が認められた。刺激点滅の主効果と同様に，1.3Hz,2Hz,4Hz の時間周波数の条件間では有意差が認められなかったが，両眼呈示条件では，点滅なし，刺激なしの条件間に有意差が認められ，点滅条件，点滅なし条件，刺激なし条件の順に消失潜時が長くなることがわかった。一方単眼呈示条件では，点滅条件と点滅な条件間に有意差が認められず，刺激なし条件が有意に長いことが分かった。有意差が認められなかった 1 名に関しても

データの傾向は有意差が認められた 3 名のデータと一致している。このことはターゲット刺激が両眼呈示されている，すなわち Troxler 効果によるターゲットの消失しか起こらない条件では，点滅刺激による消失効果が相対的に大きかったことにより点滅の有無による有意差が認められたと考えられる。

また点滅なし条件（0Hz）が刺激なし条件よりも有意に消失潜時が短いことが示され，刺激が点滅していなくても黒色の円の刺激が呈示されるだけで消失潜時が減少することが示された。点滅刺激は黒色の高コントラスト刺激であり，灰色条件での背景と黒色の円とのコントラストは 0.61，ターゲット刺激とのコントラストは 0.18 であった。そのため高コントラストの刺激提示にもとづく感度調節により，高コントラストの刺激に対する感度は良くなるが，相対的に低コントラストの刺激に対する感度が低下してしまうという現象(contrast gain control)が生じ(Truchard,Ohzawa&Freeman,2000），点滅なしでも高コントラスト刺激が呈示されたことによってターゲットの消失が促進されたと考えられる。

引用文献

花沢明俊（2007）.2.神経生理Ｉ-網膜から V1 まで-内川恵二（2007）視覚Ｉ 視覚系の構造と初期機能（株）朝倉書店 pp. 23-44.

Kanai, R. & Kamitani, Y. (2003). Time-locked perceptual fading induced by visual transients. *Journal of Cognitive Neuroscience* 15(5), 664-672.

金井良太（2008）.視覚のリセット 心理学評論 51 巻 2 号 pp. 263-274.

北岡明佳（2008）. 人はなぜ錯視にだまされるのか？ カンゼン

北岡明佳（2013）.錯視大分析 脳がだまされるサイエンス心理学の世界 カンゼン

Lou, L. (2008). Troxler effect with dichoptic stimulus presentations: Evidence for binocular inhibitory summation and interocular suppression. *Vision Research*, 48, 1514-1521.

Truchard,A., Ohzawa,I., & Freeman, R. D., (2000) . Contrast Gain Control in the Visual Cortex: Monocular Versus Binocular Mechanisms. *The Journal of Neuroscience*, April 15, 2000, 20 (8) ,3017–3032.

Simons, D., Lleras, A., Martinez-Conde, S., Slichter, D., Caddigan, E., & Nevarez, G. (2006) . Induced visual fading of complex images. *Jounal of Vision*, 6, 1093-1101.

（2022年 2月 7日 受付
2022年 3月 30日 受理）