

サッカード残像の視覚的持続時間の研究

Study on Visual Persistence of Saccade-induced Afterimage

学生会員 渡邊 淳司[†], 坂本 憲久[†], 則武 厚^{††},
前田 太郎^{†††}, 館 暲[†]

Junji Watanabe[†], Norihisa Sakamoto[†], Atsushi Noritake^{††}, Taro Maeda^{†††} and Susumu Tachi[†]

Abstract We have been studying two-dimensional displays using afterimages caused by saccadic eye movement. We need to investigate the spatial and temporal characters of saccade-induced afterimages, to develop a design theory on these displays. However, there have been few studies on temporal characters. We, therefore, tried to determine how long afterimages induced by saccades persisted. Our results indicate that the duration of saccade-induced afterimages last as long as that of afterimages induced by a moving illuminant with the eyes fixed, although various perceptual features are suppressed around the time of the saccade. Our results also suggest that saccade-induced afterimages can be grouped with other visual stimuli after the shape of the afterimage is formed.

キーワード：サッカード，視覚的持続，残像ディスプレイ

1. ま え が き

1.1 残像を利用した視覚情報提示手法

これまで、2次元的な広がりを持った視覚情報提示手法において、光源を2次元に配置する代わりに1次元の光点列を物理的に高速移動させ、人間の視覚残像を利用することで2次元情報提示を行う図1(a)のようなデバイスが存在している¹⁾。一方で、上記の手法とは逆に、1列の光点列を固定し、サッカードと呼ばれる高速眼球運動中に光点列の点滅パターンを高速で時間変化させると、点滅パターンが眼球運動により空間パターンに展開され、2次元イメージが知覚される²⁾³⁾。筆者らは、これを利用して、光点列自体を移動させることなく、少ない空間、エネルギーで効率的に情報提示を行う手法を提案してきた³⁾(図1(b))。

これら二つの手法は、異なる時間に提示された像が

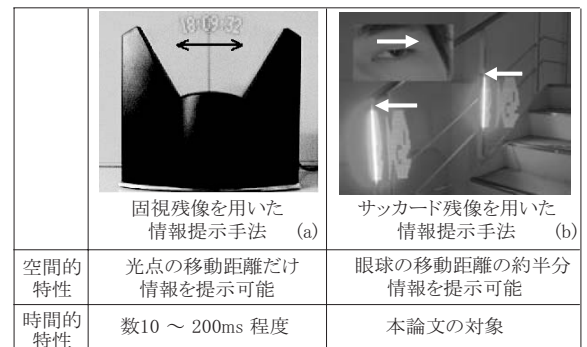


図1 残像を利用した2次元情報提示手法。(a) 固視残像を利用したもの。ISM Inc. Fantazein。(b) サッカード残像を利用したもの。Saccade-based display.³⁾

Two dimensional information display based on (a) afterimage caused by the movement of illuminant -ISM Inc. Fantazein- and (b) saccade-induced afterimage. -Saccade-based display.³⁾

2004年7月、電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会 一部発表
2004年4月30日受付、2004年9月16日最終受付、2004年10月7日採録

[†] 東京大学大学院 情報理工学系研究科
(〒113-8656 文京区本郷 7-3-1, 03-5841-6917)

^{††} 関西学院大学 文学研究科
(〒662-8501 兵庫県西宮市上ヶ原一番町 1-155, 0798-54-6209)

^{†††} 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所
(〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1, 046-240-3169)

[†] Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo
(7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan)

^{††} Graduate School of Humanities, Kwansai Gakuin University
(1-155, Kamigahara Ichibancho, Nishinomiya-shi, Hyogo, Japan)

^{†††} NTT Communication Science Laboratories, NTT Corporation
(3-1, Morinosato Wakamiya, Atsugi-shi, Kanagawa, Japan)

ある一定時間(視覚的持続時間)保持され、一つのまとまった像として知覚されることを利用して、1次元の光源から2次元情報を提示している。ただし、図1(a)の手法では、人間が固視時に光点列の物理的な高速移動によって生じる残像(以下、固視残像)を利用しているのに対し、図1(b)の手法では、観察者自身のサッカードによって展開された残像(以下、サッカード残像)を利用している。

1.2 本研究の目的

これらの残像の知覚特性、特に空間的特性(残像が知覚される空間の広さ)と時間的特性(残像が知覚される

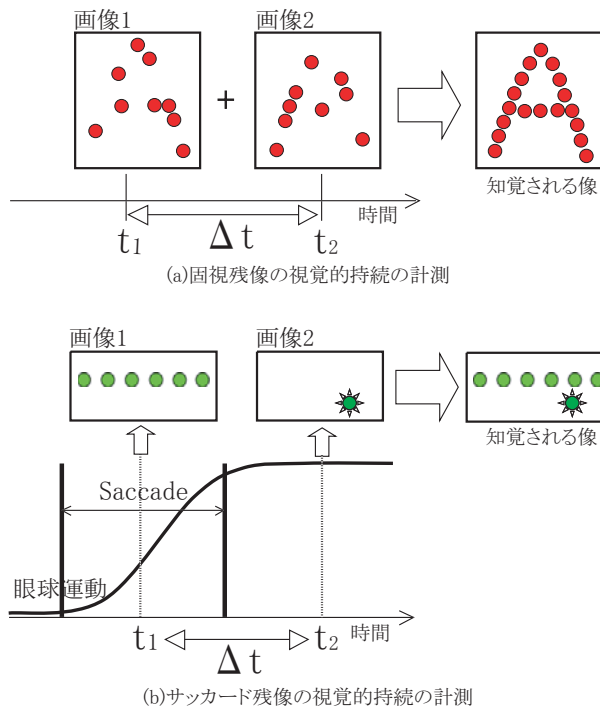


図 2 (a) 固視残像の視覚的持続時間の計測手法．(b) サッカー
 残像の視覚的持続時間の計測．
 Measurement method of visual persistence. (a)Afterimage
 with eyes fixed. (b)Saccade-induced afterimage.

時間の長さ)は、上記のような視覚情報提示ディスプレイを設計する上で重要なパラメータである。図 1 の各項目にまとめられるように、これまで、固視残像の時間的・空間的特性に関する研究は多く存在し、光点の移動距離と等しい大きさの像が数 10~200ms 程度の持続時間をもって知覚されることが知られている^{4)~7)}。一方、サッカド残像については、残像の知覚される位置や長さという空間的特性に関して、眼球移動距離の約半分、すなわち眼球運動によって生じた網膜像の約半分の大きさの像が知覚されることが知られている^{8)~14)}。しかし、その時間的特性、すなわち、残像がどの程度の時間保持されているか、その視覚的持続時間に関しては調べられていない。一般に、サッカド時においては、速度知覚、位置変化検出域等、様々な知覚特性が抑制されているため¹⁵⁾、固視時とサッカド時ではその視覚的持続時間が同程度の長さであるとは限らない。そこで、本論文実験 1 では、サッカド残像の視覚的持続時間を計測し、固視残像の持続時間と比較した。

実験 1 の結果、サッカド残像の視覚的持続時間として固視残像と同等の約 120ms が計測された。これは、サッカド残像が生じた後、約 120ms の範囲に提示された光点は時間的に統合され、一つの像として知覚されることを意味している。実験 2 においては、サッカド残像を含んだ時間的統合が網膜像に対する空間的処理(網膜像の半分の大きさに知覚される)に先立って行われるのか、それとも、空間的処理が行われた後に時間的統合

が行われるのか、サッカド残像の時間的、空間的処理の順序について調べた。

2. サッカド残像の視覚的持続時間の計測手法

本章では、本論文の二つの実験において使用しているサッカド残像の視覚的持続時間の計測手法について述べる。

これまで行われてきた代表的な固視残像の視覚的持続時間の計測手法として、図 2(a) のような手法が挙げられる⁶⁾⁷⁾。この手法の原理は、二つが同時に見えて初めて意味をなす画像(図 2(a) 画像 1, 2)を一定時間 Δt あけて提示したとき、 Δt が視覚的持続時間より短ければ、2 枚の像が重なって 1 枚の画像として知覚可能であると考え、2 枚の像が 1 枚の像として知覚可能な最大時間 Δt を計測するものである。

サッカド残像の視覚的持続時間に関して、図 2(a) の固視残像の計測手法に倣って考えると、画像 1 をサッカド中に、画像 2 をサッカド後に提示したとき、2 枚の画像が一つの画像として知覚される最大の時間間隔 Δt が、サッカド残像の視覚的持続時間と考えることができる。サッカドを利用したディスプレイにおいては、1 次元の光点列を高速点滅させることで、2 次元情報を提示しているが、本実験においては、サッカド中に一点の光点を高速点滅させ、サッカド残像を生じさせて図 2(b) の画像 1 とし、ある一定時間 Δt 後に画像 2 として別の光点を提示して、視覚的持続時間を計測するものとした。

また、一般にサッカド中の知覚は抑制され、知覚可能な情報量が減少することが示唆されてきたが、本実験で使用するような、空間周波数の高い刺激に対しては、抑制が少ないと言われている¹⁶⁾¹⁷⁾。筆者らは背景輝度が低く、刺激のコントラストが充分確保できる場合、知覚できる解像度が殆ど低下しないことを確認しており³⁾、また、藤田らも研究によってもサッカド中に文字などの情報が知覚可能であることが報告されている。実際、本論文における実験条件においても、サッカド中に提示された光点群に関して、被験者はその形状、位置を充分知覚可能であった。またサッカド時には、色情報よりも輝度情報の処理機構が抑制されるという報告があるが¹⁸⁾、本実験において刺激として使用した赤、黄緑の LED の色は輝度、コントラストが高いということもあり、サッカド中に提示されても、それらの色を区別することは可能であった。

3. 実験 1: サッカド残像と固視残像の視覚的持続時間の比較

実験 1 においては、サッカド残像と固視残像の視覚的持続時間を画像の提示時間間隔 Δt を変化させることによって計測する。 Δt をそれぞれ 6 種類変化させて、画

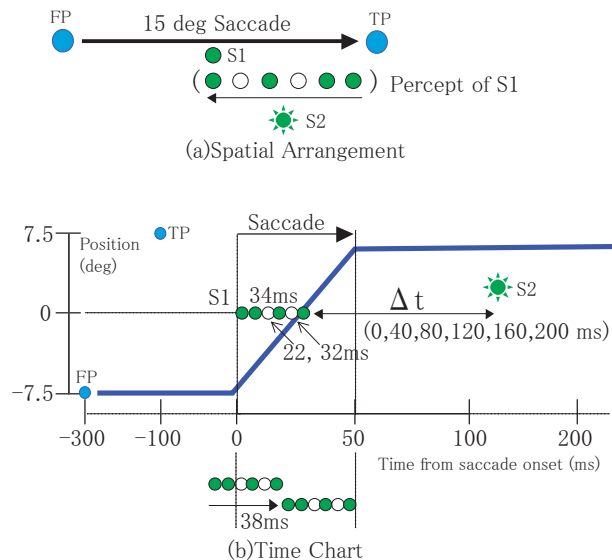


図 3 実験 1: 実験装置の配置とタイムチャート
Spatial arrangement and time chart of first experiment

像 1 と画像 2 が同時に見える割合を計測した。また、視覚的持続時間は提示される刺激の明るさによって異なることも考えられ、画像 1 と画像 2 の明るさをそれぞれ 2 種類ずつ変化させた。以下、サッカード残像と固視残像の視覚的持続時間計測の実験装置、実験手順について述べる。

3.1 サッカード残像計測の実験装置と手順

注視点 (FP)、視標 (TP)、サッカード中に点滅する光点 (S1)、サッカード後に点滅する光点 (S2) を図 3(a) のように配置する。FP と TP は視野角 15deg 離れており、両者ともに青色 LED、輝度 0.4cd/m^2 、大きさ 0.12deg である。S1 は FP と TP の真中に配置され、黄緑色もしくは赤色のいずれかの色で高速点灯可能である。S2 は S1 から右に 5.9deg 、下に 1.9deg 移動した場所に位置し、黄緑色に点灯する。S1, S2 の大きさは FP・TP と同じ 0.12deg である。S1 は被験者の左眼珠の正面に位置し、その距離は 150cm である。FP, TP, S の中心の高さは被験者の眼球の高さと同じである。被験者は右目を眼帯で覆い、あご台によって顔の位置を固定した。実験は暗室 (0.01lx) で行われ、被験者は 20 代の男性 3 名で 3 名とも矯正視力で 0.6 以上であった。

実験のタイムチャートを図 3(b) に示す。初めに FP が $1\sim 2\text{sec}$ ランダムに点灯し、被験者は FP に視線を向ける。次に FP が消灯し 200ms 後に TP が 10ms 点灯し、被験者は TP に向かって右方向水平サッカードを行う。 200ms のギャップは、特に潜在が安定しているエクスプレスサッカード¹⁹⁾を誘発し、安定した実験条件を得るためである。TP が点灯してから 100ms 後に S1 が 500Hz (0.5ms 点灯, 1.5ms 消灯) で 34ms 点滅する。サッカード中に光点 S1 が高速に点滅することで、被験者は光点列を知覚する。そして、S1 の点滅終了 Δt 後に、S2 が 1ms

点灯する。被験者のタスクは、サッカード中の S1 の高速点滅によって生じる光点列と、S1 の点滅終了 Δt 後に一瞬だけ点灯する S2 が、「同時に見えた」か「別々に見えた」かを答える 2AFC (2 Alternative Forced Choice) であった。S1 と S2 がはっきりと別々に知覚されない場合は、すべて「同時に見えた」と答えてもらった。S1 と S2 の時間間隔 Δt には、 $0\sim 200\text{ms}$ まで、 40ms 刻みで計 6 種類をランダムに用いた (ただし、1 人の被験者の 2 条件に対しては、 Δt を $0\sim 280\text{ms}$ まで 40ms 刻みで計 8 種類を用いた)。実験においては、各 Δt ごとに 20 回の試行を行い、その回答から S1 と S2 が「同時に見えた割合」を導出した。

サッカード中に提示される S1 は 500Hz で 17 回点滅を繰り返すが (34ms 提示)、このうち 11 回目 (点灯開始から 22ms) と 16 回目 (点灯開始から 32ms) は赤く点灯し、それ以外は黄緑色で点滅する。実験においては、サッカード中に知覚される光点列にこの二つの赤い光点が両方とも含まれていた場合のみを 20 回の有効な実験結果とした。これは、サッカード中に S1 点滅開始から $22\sim 32\text{ms}$ が必ず含まれるようにしたもので、サッカードに対して、光点列の提示タイミングが早すぎる試行、遅すぎる試行を除くためである。図 3(b) 下部にあるように、サッカードの持続時間を約 50ms と考えると、サッカードと S1 の点滅タイミングの範囲は 38ms 以内に抑えられている。

3.2 固視残像計測の実験装置と手順

サッカード残像の視覚的持続時間を固視残像の視覚的持続時間と比較するために、サッカード中に知覚される光点列と等価な刺激を固視時に提示し、その視覚的持続時間を計測した。サッカード時に提示される高速点滅光点は、光点がサッカード中に点滅したときのみ点列に知覚され¹⁰⁾¹¹⁾、点列の右端がサッカード開始時、左端がサッカード終了時に提示された光点であることが知られている (右方向のサッカード時)¹²⁾¹⁴⁾。そこで、固視残像の計測においては、サッカード残像計測時の高速点滅光点 S1 に代わって、図 3(a) の S1 の知覚像と同等の、水平方向に物理的に幅を持つ光点列 S1' を右から順に光らせた。被験者のタスクは、サッカード残像計測と同じく、S1' の知覚像と S1' 消灯 Δt 後に点灯する光点 S2 が、「同時に見えた」か「別々に見えた」かを答える 2AFC であった。

実験においては、まず注視点 FP を $1\sim 2\text{sec}$ 点灯し、被験者は FP を固視する。FP 消灯 100ms 後に光点列 S1' が点灯を始める。光点列 S1' は S1 と同じ大きさの光点 15 個から構成されており、S1 から TP までの視野角 7.5deg に等間隔に配置されている。これは、サッカード残像計測時に知覚された光点列の長さは、サッカード振幅の約半分、位置は左端が S1 に一致していることによる。S1' は右端の光点が 0.5ms 点灯し、消灯から 1.5ms 後に右か

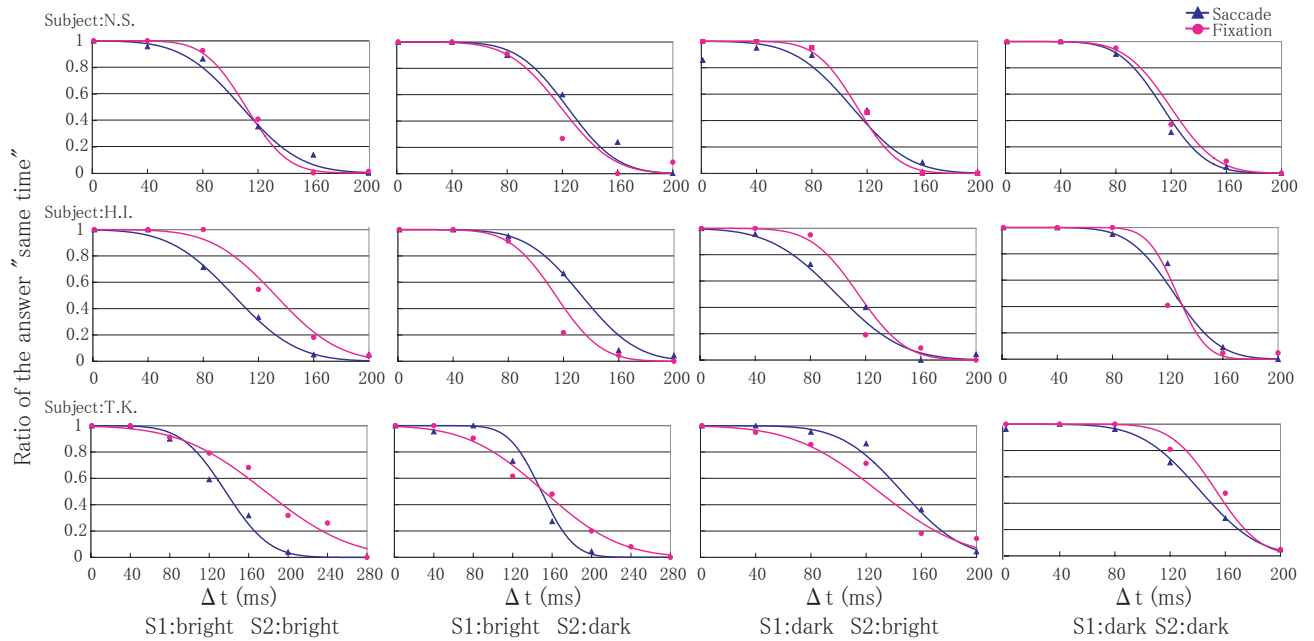


図 4 サッカード残像と固視残像の視覚的持続時間の計測結果
Measurement result of visual persistence for saccade-induced afterimage and afterimage caused by movement of light sources.

ら 2 番目の光点が 0.5ms 点灯する．このように右端の光点から左へと順番に，2ms おきに 0.5ms ずつ，計 30ms かけて点灯する．そして，S1' の左端が消灯してから Δt 後に光点 S2 が 1ms 点灯する．ただし，光点列 S1 を構成する 15 個の光点のうち，左から 2 個目，7 個目は赤く点灯し，それ以外は黄緑色に点灯する．

3.1, 3.2 節において，サッカード時、固視時の視覚的持続時間の計測手法について述べたが，前述のように，視覚的持続時間は，提示される光点刺激の明るさによって異なることも考えられ，S1(S1') と S2 のそれぞれの輝度を「明るい (4.0cd/m²)」「暗い (0.8cd/m²)」に変化させて，各 4 条件においてサッカード時と固視時の視覚的持続時間を計測することとした．各輝度条件において 6 種類の Δt を計測し，各 Δt あたり 20 試行を行った．被験者は輝度 4 条件，サッカード・固視の 2 条件，で合計 960 試行を行う．また，予備実験として，眼球運動の振幅を変化させてサッカード残像の視覚的持続時間を計測したが，その持続時間に違いが見られなかったため，本実験においては眼球運動を計測せずに実験を行った．

3.3 実験結果 1：視覚的持続時間の比較

サッカード残像，固視残像の視覚的持続時間の計測結果を図 4 に示す．3 人の被験者，明るさ 4 条件の 12 データ示されている．各グラフの横軸は Δt [ms]，縦軸は「S1(S1') と S2 が同時に見えた割合」である．がサッカード残像，が固視残像を表し，各データは累積正規分布を仮定した近似曲線によって結ばれている．

全てのグラフにおいて， Δt の値が 0~80ms では，得られた値はおおよそ 1.0 であり，S1(S1') と S2 が同時に知覚されていることを示している．また， Δt の値が 200ms

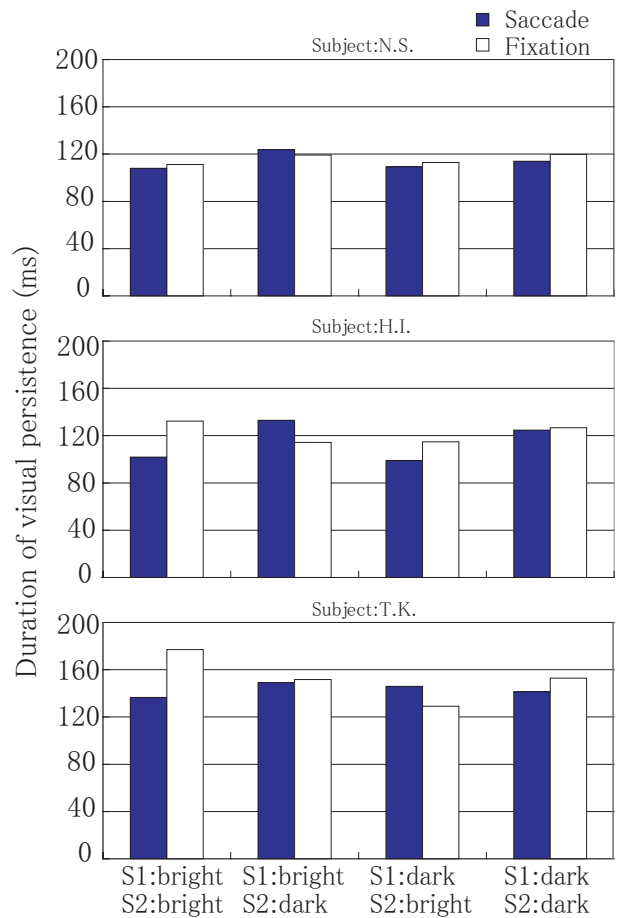


図 5 サッカード残像と固視残像の視覚的持続時間の比較
Comparison of visual persistence between saccade-induced afterimage and afterimage caused by movement of light sources.

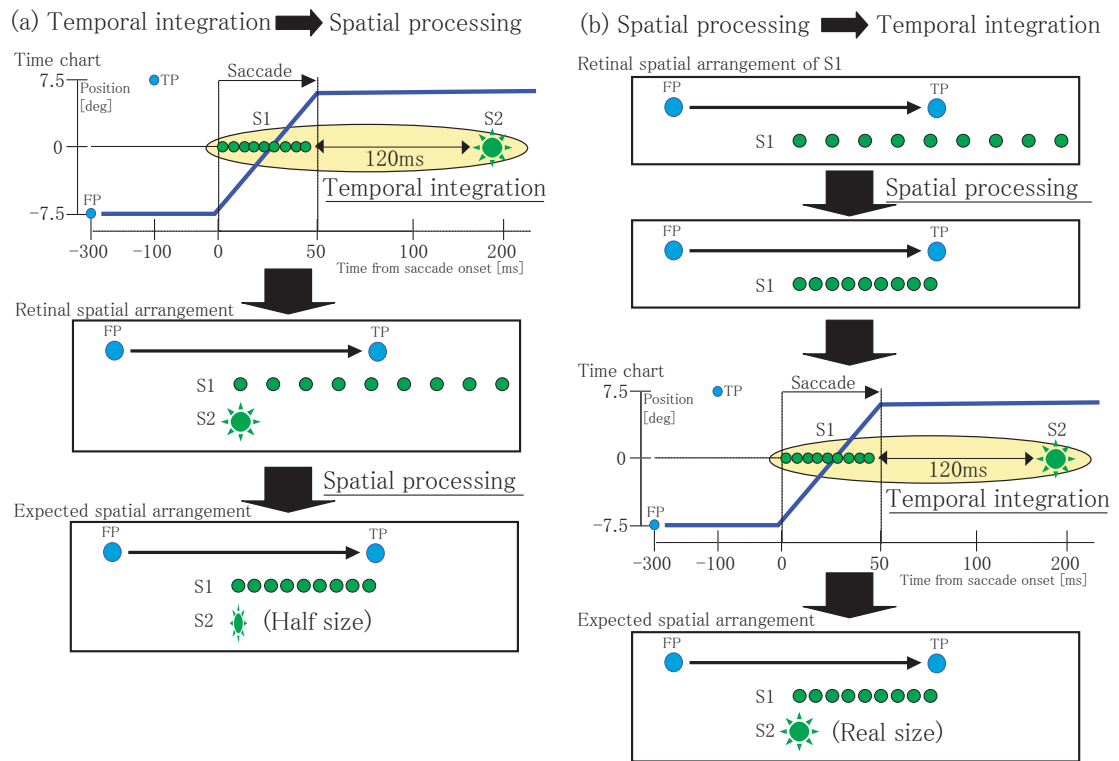


図 6 (a) 時間的統合後の空間処理 . (b) 空間処理後の時間統合 .
 (a) Temporal integration before spatial processing. (b) Temporal integration after spatial processing.

となると殆どの条件において、値は 0 であり、S1(S1') と S2 が別々に知覚されている。このとき、近似曲線が 0.5 の値を取るときの Δt の値を視覚的持続時間と考え、各条件においてその視覚的持続時間を算出すると、図 5 のデータが得られる。横軸が輝度の 4 条件であり、黒がサッカド時、白が固視時のデータである。縦軸が算出された視覚的持続時間である。図 5 より、本条件においては、サッカド残像の視覚的持続時間は 120ms 程度であり、各被験者内においては、サッカド残像と固視残像の視覚的持続時間はほぼ同程度であることがわかった。また、この視覚的持続時間は光点の輝度にも拠らないことがわかった。

4. 実験 2：サッカド残像の時間的・空間的処理の順序

実験 1 においては、サッカド残像の時間的統合処理に関して調べたが、1 章で述べたように、サッカド残像の空間的性質として、知覚像の大きさは網膜像の約半分であることが知られている^{8) ~ 14)}。実験 2 においては、サッカド残像を含んだ時間的統合処理が網膜像に対する空間的処理(水平方向、網膜像の半分の大きさになる)に先立って行われるのか、それとも、空間的処理が行われた後に時間的統合が行われるのか、サッカド残像の時間的、空間的処理の順序について調べた。

図 6(a) にあるように、サッカド残像を含んだ約 120ms の範囲での時間的統合が、網膜像に対する空間的

処理に先立って行われるならば、他の光点刺激が視覚的持続時間内(120ms 内)に提示されると、まず、その刺激は空間的処理が行われていないサッカド残像と時間的に統合される。そして、統合された像に対して空間的処理が行われ、提示された光点刺激も合わせて半分の大きさに知覚されると考えられる。一方、図 6(b) にあるように、サッカド残像に対する空間的処理が先に行われ、その後に時間的統合が行われるならば、120ms 以内に他の刺激が提示されても、サッカド残像のみ半分の大きさに知覚され、他の刺激は正しい大きさに知覚されることになる。

4.1 実験装置と手順

実験 2 の実験装置(図 7(a))は、S2 を除いて実験 1 のサッカド残像計測の実験装置と同様のものを使用した。S2 は光点の代わりに水平方向に 15 個の光点を並べたものを用いた。15 個の光点は等間隔に配置されており、すべて黄緑色に点灯する。S2 は 15 個の光点のうちいくつかを同時に点灯させて、以下のいずれかの長さの光点列を提示した。2.5deg(左から光点 7 個分)、4.2deg(左から光点 11 個分)、5.9deg(光点 15 個分)。S2 の位置は左端の光点が装置中央から下に 1.9deg 移動した場所に、右端が装置中央から下に 1.9deg、右に 5.9deg 移動した場所に位置するように配置されている。S1, S2 の光点の輝度はともに 0.8cd/m² である。

実験においては、S1 を提示後、 Δt 後に S2 を 3 種類のいずれかの長さで提示し、被験者にはその知覚された長

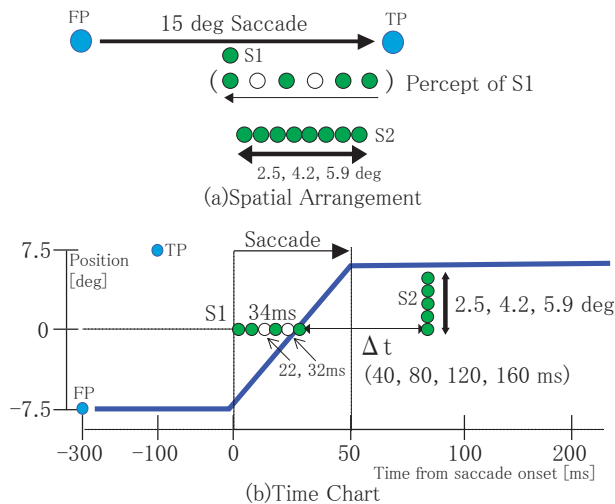


図7 実験2: 実験装置の配置とタイムチャート
Experimental arrangement and time chart of second experiment

さを報告してもらった。各長さの条件において Δt を変化させて、視覚的持続時間内及び視覚的持続時間後に提示された S2 の知覚された長さを調べた。

実験のタイムチャートを図7(b)に示す。実験1と同様の FP, TP の点灯タイミングによって、被験者のサッカドを誘発する。S1 は実験1と同様に 34ms 点灯し、 Δt 後に S2 が3種類の長さのいずれかで 1ms 点灯する。このとき、被験者はサッカド中に提示される S1 による光点列を知覚した後に、提示される光点列 S2 の知覚像の両端をレーザポインタで指し示す。S2 周辺には 1mm 単位の方眼紙が張られており、実験者がレーザの明るさによって、この2点間の距離を読み取り、知覚された S2 の長さを計測した。各長さにおいて Δt を 40ms から 160ms まで 40ms 刻みで4種類変化させ、各 Δt において 20 試行、計 240 試行を行った。実験1と同じく S1 の二つの赤い光点が知覚されなかった場合、20 試行から除いた。また、 Δt の最小値は 40ms であるため、サッカドの持続時間から考えてもサッカド中に S2 が提示されることはない。被験者は実験1に参加した2名である。実験においては Δt および S2 の長さをランダムで選んで行った。

4.2 実験結果2: 視覚的持続時間中に知覚される長さ
提示された S2 の長さと知覚された S2 の長さの比率を図8に示す。グラフの横軸は S1 と S2 の時間間隔 Δt [ms] であり、長さ3条件の値を示している。黒が 2.5deg, 灰が 4.2deg, 白が 5.9deg のデータである。縦軸は S2 の提示された長さに対する知覚された長さの割合で、縦軸の値が 1 より大きい場合は、知覚された長さが実際の長さより長いことを表し、縦軸の値が 1 より小さい場合は、知覚された長さが実際の長さより短いことを表す。実験1において計測された両被験者の視覚的持続時間は約 120ms であり、 Δt が 40, 80ms の条件においては S2 が

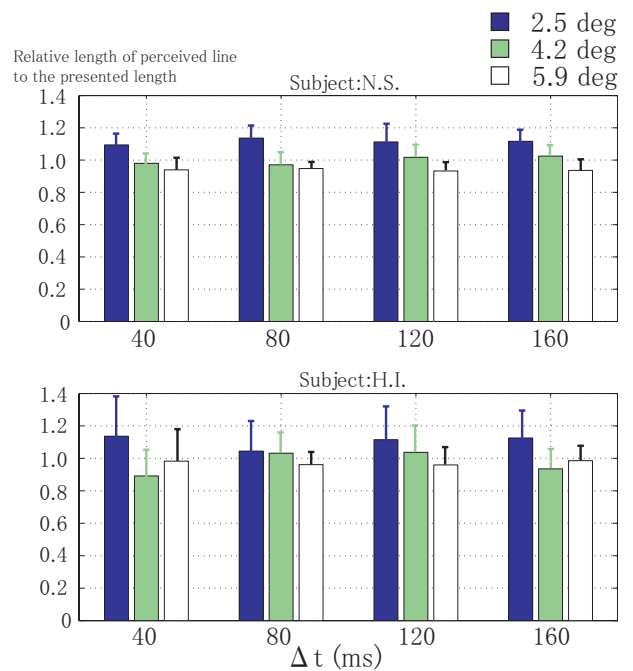


図8 知覚された光点列と提示された光点列の長さの比率
Relative length of perceived line to the presented length

S1 の視覚的持続時間内に提示され、160ms の条件においては視覚的持続時間後に提示されたことになる。両被験者ともに知覚された光点列の比率は、すべての条件において 0.9~1.1 程度であり、実際に提示された光点列とほぼ等しい長さを知覚している。つまり、サッカド残像の持続時間中に提示された光点列は、網膜像の半分の長さに知覚されることはなく、持続時間終了後と同様の正しい長さに知覚された。このことは、サッカド残像の時間的・空間的処理の順序に関して、まず、サッカド残像の空間的処理が行われ(サッカド残像の形態が決定され)、その後他の視覚刺激との時間的統合が行われていることを意味している。

5. む す び

実験1において、サッカド時と固視時に知覚される残像の視覚的持続時間を計測した。その結果、サッカド時、固視時ともに光点の輝度に抛らずに約 120ms の視覚的持続時間が計測され、サッカドによって生じる残像も、固視時に生じる残像と同等の持続時間を持つことがわかった。これは、サッカド時には様々な知覚特性が抑制されているのにも関わらず、視覚的持続に関する機構は、固視時と同様に機能していることを示唆している。またこの結果は、サッカドを利用した情報提示手法によって提示された像は、固視残像によって提示された像と同等の時間保持されることを示している。

実験2の結果は、サッカドの終了後かつサッカド残像の持続時間中に、ある長さをもった光点列を提示したとしてもその長さは、半分の長さに知覚されるサッ

カード残像とは異なり正しい長さに知覚されるということがわかった。これは、サッカード残像の知覚においては、網膜像に対する空間処理が行われた後に、他の光点刺激との時間的統合が行われることを意味しており、時間的統合（視覚的持続）の機構が網膜レベルの機構ではなく脳の高次過程に関わるものであることを示唆している。これは、固視残像に関する近年の研究結果²⁰⁾²¹⁾とも一致するものである。

〔文 献〕

- 1) オーム社 編: “ Ohm Mook 光シリーズ No.2 光ディスプレイ ”, オーム社 (2002)
- 2) 藤田昌彦, 雨海明博: “ 眼球運動中のアイコニック・メモリの性質 (1) ”, 信学技報 NC2000-41, pp.1-5 (2000)
- 3) 渡邊淳司, 前田太郎, 舘暁: “ サッカードを利用した新しい情報提示手法の提案 ”, 日本バーチャルリアリティ学論 6, 2, pp.79-87 (2001)
- 4) M. Coltheart: “ Iconic memory and visible persistence ”, Perception and Psychophysics 27, 3, pp.183-228 (1980)
- 5) G. Spering: “ The information available in brief visual presentation ”, Psychological Monographs: General and Applied 74, 498, pp.1-29 (1960)
- 6) V. Di Lollo: “ Temporal characteristics of iconic memory ”, Nature 267, 5608, pp.241-243 (1967)
- 7) C.W. Eriksen, J.F. Collins: “ Some temporal characteristics of visual pattern recognition ”, Journal of Experimental Psychology 74, 4, pp.476-484 (1967)
- 8) W.A. Hershberger: “ Saccadic eye movements and the perception of visual direction ”, Perception & Psychophysics 41, 1, pp.35-44 (1987)
- 9) W.A. Hershberger, J.S. Jordan: “ Visual direction constancy: perceiving the visual direction of perisaccadic flashes ”, In E. Chekaluk and K. R. Llewellyn (Eds.), The role of eye movements in perceptual processes, Amsterdam: Elsevier, pp.1-43 (1992)
- 10) H. Sogo, N. Osaka: “ Perception of relation of stimuli locations successively flashed before saccade ”, Vision Research 41, 7, pp.935-942 (2001)
- 11) 大石慎太郎, 海老澤嘉伸: “ 意識的サッカードに伴う連続点滅刺激の定位の注意方向依存性 ”, 映像学誌 56, 11, pp.1825-1829 (2002)
- 12) 渡邊淳司, 前田太郎, 舘暁: “ サッカード前中後に渡って提示される連続点滅光点刺激の知覚と眼球運動との時間関係 ”, 信学論 J86-D-II, 9, pp.1350-1357 (2003)
- 13) 海老澤嘉伸: “ 連続点滅光のサッカード定位誤りの点滅頻度依存性 ”, 映像学誌 57, 12, pp.1669-1676 (2003)
- 14) J. Watanabe, A. Noritake, T. Maeda, S. Tachi, S. Nishida: “ Perisaccadic perception of continuous flickers ”, Vision Research, in press.
- 15) 日本視覚学会 編: “ 視覚情報処理ハンドブック ”, 朝倉書店 (2000)
- 16) B.A. Brooks, A.F. Fuchs: “ Influence of stimulus parameters on visual sensitivity during saccadic eye movement ”, Vision Research 15, 12, pp.1389-1398 (1975)
- 17) F.C. Volkman, L.A. Riggs, K.D. White, R.K. Moore: “ Contrast sensitivity during saccadic eye movement ”, Vision Research 18, 9, pp.1193-1199 (1978)
- 18) D.C. Burr, M.C. Morrone, J. Ross: “ Selective suppression of magnocellular visual pathway during saccadic eye movement ”, Nature 371, 6497, pp.511-513 (1994)
- 19) B. Fischer, E. Ramsperger: “ Human express saccades: extremely short reaction times of goal directed eye movements ”, Experimental Brain Research 57, 1, pp.191-195 (1984)
- 20) G.R. Engel: “ An investigation of visual responses to brief stereoscopic stimuli ”, Quarterly Journal of Experimental Psychology 22, 2, pp.148-166 (1970)
- 21) S. Shioiri, P. Cavanagh: “ Visual persistence of figures defined by relative motion ”, Vision Research 32, 5, pp.943-951 (1992)

わたなべ じゅん し
渡邊 淳司 2000年, 東京大学工学部計数工学科卒。2002年, 同大学院修士課程修了。現在, 東京大学大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻 博士課程。眼球運動を利用したディスプレイおよび眼球運動中の視覚特性の研究を行う。日本学術振興会特別研究員・学生会員。

さかもと のりひさ
坂本 憲久 2004年, 東京大学工学部計数工学科卒業。現在東京大学大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻修士過程在学。触覚ディスプレイに関する研究に従事。

のりたけ あつし
則武 厚 2001年, 関西学院大学文学研究科心理学専攻博士課程前期過程修了。2002年, NEDO ジュニアフェロー, 現在, 関西学院大学文学研究科博士課程後期過程在学中。日本学術振興会特別研究員。視覚心理, 特に眼球運動時の知覚に関する研究を行う。

まえだ たろう
前田 太郎 1987年, 東京大学工学部計数工学科卒。同年, 通産省工業技術院機械技術研究所。1992年, 東京大学先端科学技術研究センター 助手, 1994年, 同大学院工学部 助手, 1997年, 同大学院工学部 講師, 2000年, 同大学院情報学環 講師。2002年, NTTコミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部 主幹研究員。人間の知覚特性・神経回路のモデル化, テレイクジスタンスの研究に従事。工学博士。

たち すずむ
舘 暁 1968年, 東京大学工学部計数工学科卒。1973年, 同大学院博士課程了。同年, 同大助手。1975年, 通産省工技院機械技研研究員, マサチューセッツ工科大学客員研究員を経て, 1989年, 東大先端科学技術研究センター 助教授。1992年, 同センター 教授。1994年, 同大学院工学部計数工学科 教授。2001年, 同大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻 教授。テレイクジスタンス, 人工現実感の研究に従事。工学博士。