

サッケードによる視覚刺激の見えの持続時間の増大

佐藤 雅之・内川 恵二

東京工業大学工学部像情報工学研究施設 〒226 横浜市緑区長津田町 4259

Increase of Visual Persistence Caused by Saccadic Eye Movements

Masayuki SATO and Keiji UCHIKAWA

Imaging Science and Engineering Laboratory, Tokyo Institute of Technology, 4259, Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226

We compared visual persistence immediately following saccades and during fixation to clarify the influence of saccadic eye movements on the temporal properties of visual responses. The test stimulus was a small red light superimposed on a large white background field. Experiment 1 showed that a 80 ms test stimulus presented just after saccades was perceived as the same in visual persistence as a probe stimulus presented during fixation with longer duration. Experiment 2 showed no systematic increase of visual persistence with decrease in stimulus intensity. These results show that visual persistence is longer following saccades and that this effect is not caused by a decrease of perceptual intensity by saccadic suppression. Visual responses to the stimulus have a sustained chromatic-component and a transient achromatic-component. It is suggested that saccadic suppression has selective effects on the transient component of the visual responses.

1. はじめに

われわれがものを見るときには跳躍的な眼球運動（サッケード）が頻繁に行われているが、われわれが知覚する視野は鮮明で、安定している。サッケード時には主に2つの視覚情報処理が必要であると考えられている^{1,2)}。1つはサッケード中の流れ像に対する処理である。網膜上の視覚像はサッケードに伴って流れ、不鮮明なものとなるが、われわれが知覚するのは鮮明な静止像だけである。視覚系はサッケード時の不鮮明な像を知覚レベルに伝達しないメカニズムをもつと考えられる。もう1つは視野の安定と統合に関する処理である。サッケード前後のずれた2枚の像を固視時に継時的に観察すると観察者は像の動きを知覚する。視野の安定のためにはこの動きの知覚を抑制する必要がある。また、ずれた網膜像からの視覚情報を外界における位置に対応させて統合し、広い視野を形成する必要がある。

サッケード時には視覚の感度が低下することが知られており^{3,4)}、サッケード抑制と呼ばれている。サッケード抑制のメカニズムとして、マスキング効果と呼ばれる網膜性の抑制メカニズム⁵⁻⁷⁾と眼球運動の信号を用い

た中枢性の抑制メカニズム⁸⁻¹⁰⁾が挙げられている。サッケード抑制はこれまでサッケード中の流れ像を知覚しないためのメカニズムと関連付けて議論されてきた。今日では、流れ像を知覚しないための処理は網膜性の効果によるところが大きいとする見方が一般的である^{1,2,11,12)}。しかし、網膜性の効果が働かない実験条件を用いた研究によってその存在が示されている中枢性の抑制効果の役割はいまだに解明されていない。

最近の研究によって、サッケード抑制が視覚系の輝度チャンネルに選択的効果をもつことが示された¹³⁻¹⁵⁾。佐藤と内川は、増分閾値法を用いて、サッケード中とサッケード直後および固視中の分光感度関数を測定した^{13,15)}。サッケード中には固視中比べて感度が低下するだけでなく、分光感度曲線の形状が変化することが明らかになった。固視中の分光感度曲線は中・長波長領域において単峰性の輝度型の特徴を示したが³⁾、サッケード時の分光感度曲線には570 nm付近に顕著なくぼみが見られた。570 nm付近のくぼみは刺激の検出における反対色チャンネルの寄与を示す。刺激の検出において、固視時には働いていた輝度チャンネルがサッケード時には

働かなくなり、反対色チャンネルの寄与がサッケード時に相対的に増大することがわかる。すなわち、実験結果はサッケード抑制が刺激の色応答よりも輝度応答に対して強い効果をもつことを示している。彼らの用いた背景刺激は縦 43°, 横 62° の大きさをもっている。それに対して被験者の行うサッケードは横方向に 6° であり、比較的小さい。この実験条件においてマスキング効果の影響はあまり大きくないと考えることができる。また、直径 12° の円形のテスト刺激をサッケード時の動きを模擬して動かしながら呈示した実験の結果から、サッケードに伴う刺激の動きはほとんど効果がないことが示されている。Burrらは色と輝度のグレーティングに対する感度を固視時とサッケード時において測定し、同様の結果を得ている¹⁴⁾。彼らの用いた刺激は縦 53°, 横 67° の大きさをもつ水平のグレーティングである。また、テスト刺激の周りに一様な周辺刺激を呈示している。これらの研究により示された輝度チャンネルへの抑制効果は中枢性のものであると考えることができる。抑制効果の輝度チャンネルへの選択性はサッケード時の中枢性の抑制効果の役割を明らかにするうえで重要な手がかりであると考えることができる。

視覚系は時間応答特性の異なる複数のチャンネルをもつことが明らかにされている。色応答は持続的 (sustained) であり、輝度応答は過渡的 (transient) であることが多くの研究によって示されている¹⁶⁻²⁴⁾。過渡的なチャンネルは時間的な変化に対して応答するチャンネルであるから、サッケード時の網膜像の変化に対応するためにこのチャンネルを抑制することは有効である。このように考えると、抑制効果が輝度チャンネルに対してより強い効果をもつ理由を説明することができる。

サッケード抑制が輝度チャンネルに強く働くことによって、サッケード時には視覚系の時間応答特性が変化することが予想される。ここでは、サッケード抑制が視覚刺激の見えの持続に及ぼす効果を明らかにすることを目的とする。視覚刺激の見えは刺激が物理的に消失した後にも持続することが知られており²⁵⁻³⁰⁾、この主観的な持続が見えの持続である。Bowen²⁰⁾は色置換刺激と輝度の増分のある刺激の見えの持続を測定し、輝度の増分を取り除くことにより、刺激の見えの持続時間が増大することを示している。したがって、サッケード抑制が輝度応答に選択的であるならば、サッケード時には見えの持続が増大することが予想される。

2. 実験 1

2.1 目的

Fig. 1 に刺激呈示の時間的な条件を示す。[サッケード条件] では、サッケードの終了直後にテスト刺激を呈示する。適当なインターバルにおいてプローブ刺激を呈示する。テスト刺激とプローブ刺激は呈示持続時間のみが異なる。被験者はテスト刺激とプローブ刺激のどちらがより長く知覚されたかを応答する。プローブ刺激の呈示持続時間を変数とし、テスト刺激と同じ長さに知覚されるためのプローブ刺激の呈示時間を測定する。これを等価時間と呼ぶ。[固視条件] では、被験者が固視している間にテスト刺激とプローブ刺激を呈示する。[サッケード条件] と同様に等価時間を測定する。[サッケード条件] ではテスト刺激がサッケードの終了直後に呈示されるので、テスト刺激の見えはサッケードの影響を強く受ける。固視条件ではサッケードの影響はない。両条件における等価時間を比較することにより、テスト刺激の見えの持続に及ぼすサッケードの影響を明らかにすることができる。サッケードにより刺激の見えの持続時間が増大するのであれば、[サッケード条件] における等価時間が [固視条件] に比べて長くなると考えられる。

2.2 装置と刺激

Fig. 2 に刺激の空間的な配置を示す。白色のプラスチ

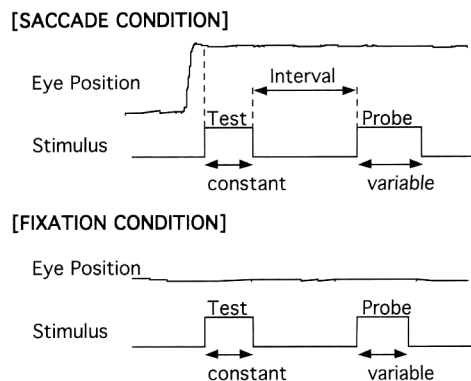


Fig. 1. Temporal sequence of stimulus presentation in the experiment 1. The duration of the probe stimulus was varied in every trial and the observer judged which appeared longer. Equivalent duration was defined as the duration of the probe stimulus which the observer judged longer than the test stimulus in 50% probability. This value was considered as an index of visual persistence of the test stimulus. Equivalent duration obtained in saccade condition was compared with that obtained in fixation condition to clarify the effects of saccadic eye movements on visual persistence of test stimulus.

ック板のスクリーンを蛍光灯により一様に照明し、背景刺激とした。視距離は 30 cm である。背景刺激の大きさは縦 45°, 横 60° である。輝度は 532 cd/m², CIE 1931 *xy* 色度座標は (0.360, 0.367) である。サッケードの始点、終点および固視位置を示すためにスクリーン上に 4 つのマークを配置した。これらはちょうど見える程度の低コントラストの小さな点である。テスト刺激およびプローブ刺激は赤色の発光ダイオードを光源とする光学系により呈示した。発光ダイオードの前にアパーチャーを置き、アパーチャーの像を背景刺激に重ねて呈示した。テスト刺激およびプローブ刺激は直径 0.5° の赤い円形の光点であり、右の 2 つのマークの間に呈示される。テスト刺激による輝度の増分は 133 cd/m² である。CIE 1931 *xy* 色度座標は (0.723, 0.277), 主波長は 660 nm である。予備実験により、テスト刺激の強度を高くすると残像により刺激の消失の判断が困難になることが明らかになったので、刺激の強度は高くなりすぎないように選んだ。被験者は両眼で刺激を観察した。

眼球位置をリンバストラッカー法³¹⁾により測定した。検出素子をできるだけ視野の妨げにならないように左眼の前方やや下の方に置いた。眼球位置信号を微分し、眼球の速度が 90 deg/s を越える期間をサッケードの継続時間と見做した。サッケードの開始を検出し、トリガー信号としてタイマーに入力した。タイマーの設定を変えることにより発光ダイオードの点灯時間と時間遅れを制御した。

2.3 手続

2.3.1 サッケード条件

被験者は左側の 2 つのマークの間を固視し、刺激呈

示装置のリセットボタンを押す。その後右側の 2 つのマークの中間に向けて 10° のサッケードを行う。サッケードの所要時間は約 40 ms である。サッケードが開始されてから 45 ms 後に 80 ms 間テスト刺激が呈示される。さらに 0.6 s のインターバルにおいて、プローブ刺激が呈示される。被験者はどちらの刺激が長く知覚されたかを応答する。以上が 1 回の試行の手続きである。

プローブ刺激の呈示時間を 2 系列の上下法により変化させた。1 つの系列はテスト刺激のほうが長く知覚されるようなプローブ刺激の呈示時間から開始する。もう一方の系列はプローブ刺激のほうが長く知覚されるようなプローブ刺激の呈示時間から開始する。次の試行における呈示時間は被験者の応答に基づいて 20 ms 刻みで増減させた。ただし、予備実験の結果から、被験者 SN に対しては、固視条件におけるプローブ刺激の増減の刻みが 20 ms では大きすぎることが明らかになったので、SN に対してのみ、プローブ刺激の呈示時間が 60 ms から 120 ms の間では刻みを 10 ms とした。2 つの系列を 1 試行ごとに交互に行った。60 回試行を行い、1 セッションとした。

2.3.2 固視条件

固視条件では被験者は右側の 2 つのマークの間を固視する。被験者は刺激呈示ボタンを押す。0.5 s 後 (被験者 HU では 0.8 s 後) にテスト刺激が 80 ms 間呈示される。さらに 0.6 s 後にプローブ刺激が呈示される。被験者はどちらの刺激が長く知覚されたかを応答する。1 セッションにおけるプローブ刺激の呈示時間の変化はサッケード条件と同様である。

2.4 被験者

被験者は 23 歳から 33 歳の 5 名の男性である。

2.5 結果と考察

サッケードと固視の 2 つの条件でそれぞれ 2 セッションずつ実験を行った。Fig. 3 に実験結果を示す。横軸はプローブ刺激の呈示持続時間である。縦軸は「プローブ刺激のほうが長く知覚された」という応答の割合である。刺激呈示は上下法で行ったが、ここではすべての試行における呈示時間と応答の記録をまとめ、呈示時間に対する応答の割合として結果を整理した。このような方法を採用することにより、応答が 50% となる付近のデータを効率よく集めることができる。黒シンボルは固視条件の結果、白シンボルはサッケード条件の結果を表す。すべてのグラフが全体として右上がりの形状となっていることは、プローブ刺激の呈示時間を長くすることにより「プローブ刺激のほうがテスト刺激より長く知覚

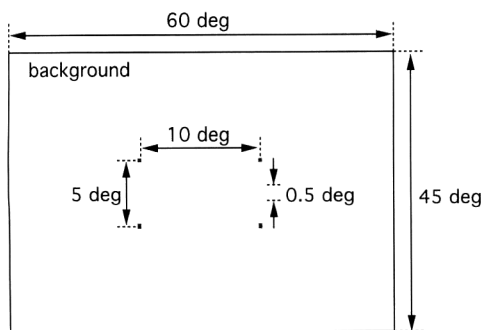


Fig. 2. Configuration of stimulus in the experiment 1 and 2. Test stimulus was an incremental red small light presented at the position indicated by the gray circle. The observer made 10-degree saccades rightward to the position of test stimulus.

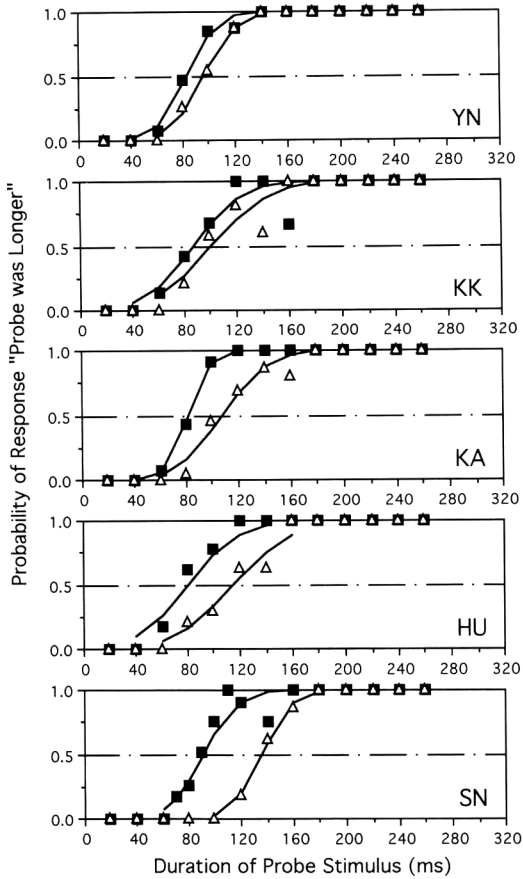


Fig.3. Probability of response "Probe stimulus appeared longer" as a function of the duration of the probe stimulus. Filled squares show the response function in fixation condition; open triangles show the response function in saccade condition.

された」という応答が増加することを示している。

サックード条件の応答関数が固視条件に比べて右側にずれている。ある同じ長さのプロブ刺激を両方の条件で観察した場合に「プロブ刺激のほうが長く知覚された」という応答が、固視条件においてサックード条件よりも高い割合で起こることがわかる。これは、「テスト刺激が長く知覚された」という応答がサックード条件において起こりやすいということであり、サックードの影響を受けてテスト刺激の見えるの持続時間が増大することを示している。

ここで、応答が50%となるプロブ刺激の呈示時間を等価時間（テスト刺激と見えるの持続時間が等しいプロブ刺激の呈示時間）とする。プロビット解析法³²⁾を用いて等価時間を推定した。プロブ刺激の呈示時間に

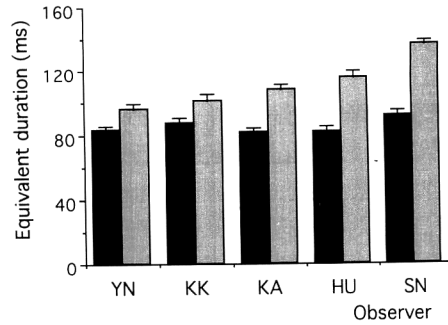


Fig.4. Equivalent duration of probe stimulus to the 80 ms test stimulus in visual persistence. Error bars indicate standard error.

より試行回数が異なるので、フィッティングを行う際にデータの重み付けを変えた。実線はこの解析法によりフィットさせた累積正規分布関数である。Fig.4に等価時間を示す。黒いバーは固視条件における等価時間を表している。被験者 YN, KK, KA, HU, SN についてそれぞれ 82.8 ms, 86.9 ms, 81.6 ms, 81.0 ms, 91.4 ms であった。誤差棒は標準誤差を表している。グレーのバーはサックード条件における等価時間を表している。被験者 YN, KK, KA, HU, SN についてそれぞれ 96.4 ms, 100.9 ms, 108.0 ms, 115.3 ms, 135.8 ms であった。等価時間は見えるの持続時間の絶対値を表しているわけではないが、テスト刺激の見えるの持続時間のひとつの指標であると見做すことができる。サックード条件の等価時間が固視条件に比べて長いということは、サックードの影響によりテスト刺激の見えるの持続時間が増大したことを示している。

3. 実験 2

3.1 目的

実験1では、等価時間という指標を用いてサックード直後と固視中のテスト刺激の見えるの持続時間を比較した。サックード直後に呈示された刺激は固視中に比べて長く知覚されることが明らかになった。これはどのような原因によるのであろうか。サックード時にはサックード抑制により刺激の明るさが低下することが知られている。サックード抑制の効果はサックードが終了した後も持続する^{1,3,5,7-9,11,12)}ので、実験1のテスト刺激はプロブ刺激に比べて明るさが低下していると考えられる。第一筆者は実際に実験1のサックード条件におけるテスト刺激がプロブ刺激よりもわずかに暗く見えることを確認している。一般に刺激の強度の変化に伴い見えるの持続時間は変化する²⁸⁻³⁰⁾。それではサックード時の

見えの持続時間の増大はサッケード抑制による刺激の明るさの低下に伴う二次的な効果なのであろうか。

実験2では、テスト刺激の強度を物理的に低下させたときの見えの持続時間を測定し、サッケードによる効果と比較する。ここでは参照刺激として聴覚刺激を用いる。テスト刺激の強度を大きく低下させた場合にプローブ刺激との見えの持続時間の比較が困難になると考えられるからである。また異なる感覚の参照刺激を用いることにより、見えの持続時間の絶対的な値を測定する。テスト刺激の立ち上がりあるいは消失と参照刺激が同時に知覚される参照刺激の呈示時刻を測定する²⁶⁻²⁸⁾。その差がテスト刺激の見えの持続時間の絶対的な値であると考えられることができる。Fig. 5に示すように視覚テスト刺激と聴覚参照刺激を被験者に与える。被験者は視覚テスト刺激の立ち上がりと聴覚参照刺激のどちらが先に知覚されたかを応答する。聴覚参照刺激の呈示時間は短いので、立ち上がりと消失の間に時間の差は感じられない。参照刺激の呈示時刻を変えて被験者の応答の割合を測定し、テスト刺激の立ち上がりと同時に知覚される参照刺激の呈示時刻を求める。また同時に、テスト刺激の消失と参照刺激を比較する実験を行い、テスト刺激の消失と参照刺激が同時に知覚される参照刺激の呈示時刻を求める。

サッケード条件では、テスト刺激をサッケード直後に呈示する。コントロール条件では、サッケードの終了後一定の時間遅れをおいてテスト刺激を呈示する。両者の違いがサッケードによる効果であると考えられることができる。また、テスト刺激の強度の効果を調べるために、コントロール条件においてテスト刺激の強度を物理的に低下させた実験を行う。

3.2 装置と刺激

背景刺激とテスト刺激の輝度と色度座標は実験1と同

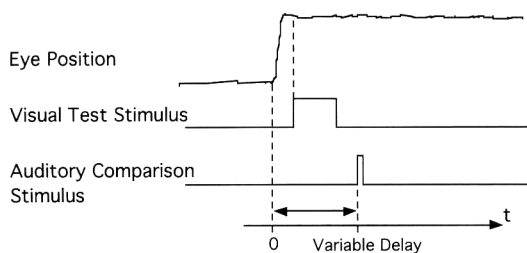


Fig. 5. Temporal sequence of stimulus presentation in the experiment 2. The observer judged the order of onset (or offset) of visual test stimulus and auditory comparison stimulus.

様である。テスト刺激の強度を低下させるためにテスト刺激の光路に濃度 0.2, 0.4, 0.6 の中性濃度フィルターを挿入した。サッケードによる感度の低下はサッケード中で 0.5 log 程度である。本実験ではテスト刺激をサッケード終了後に呈示しているので明るさの低下が 0.6 log を越えることはないと思われる。サッケードによる効果の大きさを含んだ広い範囲において強度低下の効果測定し、サッケードによる効果と比較する。聴覚参照刺激を発生させるためにブザーを用いた。ブザーに矩形波状の電圧を 1 ms 間与えて、短いビーブ音を発生させた。

3.3 手続き

3.3.1 サッケード条件

被験者は実験1のサッケード条件と同様に背景刺激上の左側の2つのマークの中間を固視し、刺激呈示装置のリセットボタンを押す。その後右側の2つのマークの中間に向けて10°のサッケードを行う。サッケードの継続時間は約40 msである。サッケードの開始から45 ms後に80 ms間視覚テスト刺激が呈示される。またこのときに聴覚参照刺激も呈示される。被験者はテスト刺激の立ち上がりと聴覚刺激のどちらが先に知覚されたかを二者択一で応答する。以上が1回の試行の手順である。実験1と同様に2系列の上下法により聴覚刺激の呈示時刻を20 ms刻みで変化させ、66回試行を行う。次に、刺激が消失する瞬間と聴覚刺激のどちらが先であったかを応答する試行を66回行う。以上が1セッションの手続きである。

3.3.2 コントロール条件

視覚テスト刺激の呈示がサッケードの開始から200 ms後であること以外はサッケード条件と同様である。

3.4 被験者

被験者は25歳の男性1名である。

3.5 結果と考察

Fig. 6に実験結果を示す。上から順にそれぞれ、サッケード条件、テスト刺激の強度を0, 0.2, 0.4, 0.6 log低下させて呈示したコントロール条件の結果を表している。4セッションずつ実験を行った。横軸は聴覚参照刺激の呈示時刻である。サッケードの開始時刻を時間軸の原点としている。縦軸は視覚テスト刺激に比べて聴覚参照刺激のほうが後であるという応答が起こった割合である。黒シンボルは視覚テスト刺激の立ち上がりと聴覚参照刺激を比べる試行の結果、白シンボルは視覚テスト刺激の消失する瞬間と聴覚参照刺激を比べる試行の結果を表す。網かけは視覚テスト刺激が呈示されている時間を

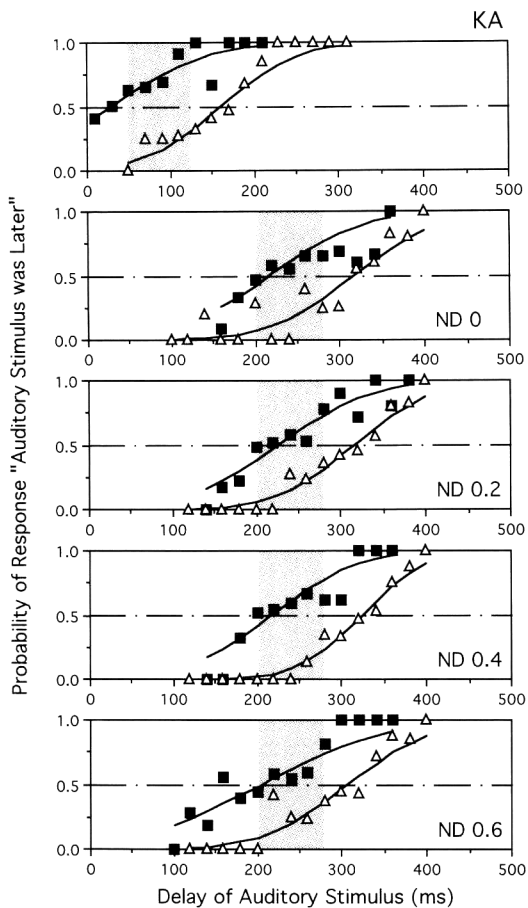


Fig. 6. Probability of response "Auditory comparison stimulus appeared later" as a function of the delay of the auditory stimulus from the onset of saccadic eye movements. The observer compared visual onset and auditory comparison (filled squares), and compared visual offset and auditory comparison (open triangles). Shadows indicate the duration of the visual stimulus. Observer KA.

表している。実線はプロビット解析法によりフィットさせた累積正規分布関数である。

この関数が50%の値をとる聴覚参照刺激の呈示時刻を等価時刻と呼ぶ。サッケード条件（視覚刺激呈示の時間遅れ45 ms）における視覚テスト刺激の立ち上がりの等価時刻は27.9 msであった。消失の等価時刻は160.7 msであった。この2つの時刻の差が見えの持続時間であると考えることができる。見えの持続時間は132.8 msであった。コントロール条件（視覚刺激呈示の時間遅れ200 ms）のND=0で得られた立ち上がりの等価時刻は216.5 msであった。刺激が消失する等価時刻は317.1 msであった。したがって、見えの持続時間は

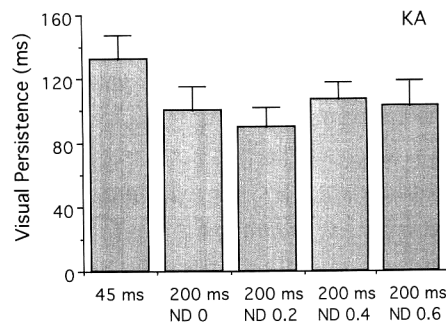


Fig. 7. Visual persistence defined by the difference between the equivalent time of visual onset and that of visual offset. Error bars indicate standard error. Observer KA.

100.6 msである。サッケード条件で得られた値のほうが32.2 ms長い。サッケードの影響により、視覚テスト刺激の見えの持続時間が増大したことを示している。これは実験1の結果を支持している。

視覚テスト刺激の強度を0.2, 0.4, 0.6 log低下させて呈示した条件における視覚刺激の立ち上がりの等価時刻はそれぞれ226.5 ms, 217.3 ms, 204.0 msであった。消失の等価時刻は315.8 ms, 323.9 ms, 307.0 msであった。したがって、見えの持続時間はそれぞれ89.3 ms, 106.6 ms, 103.0 msである。Fig. 7に、各条件で得られた見えの持続時間を示す。テスト刺激の強度を低下させることにより、見えの持続時間が増大するとはいえない。

被験者は、0.4 logおよび0.6 log強度を低下させた視覚テスト刺激がサッケード条件の視覚テスト刺激に比べて暗く見えたことを報告している。強度の低下に伴う見えの持続時間とサッケードの効果を比較するうえで、測定した強度の範囲が十分であったことがわかる。

5. 総合的考察

実験1では、テスト刺激とプローブ刺激の2つの視覚刺激を用いて、テスト刺激の見えの持続時間に及ぼすサッケードの影響を測定した。サッケード直後に呈示される80 msのテスト刺激と同じ持続時間に知覚されるためのプローブ刺激の呈示時間（等価時間）は5名の被験者でそれぞれ96.4 ms, 100.9 ms, 108.0 ms, 115.3 ms, 135.8 msであった。一方、固視時にテスト刺激を呈示したときの等価時間はそれぞれ82.8 ms, 86.9 ms, 81.6 ms, 81.0 ms, 91.4 msであった。固視条件よりもサッケード条件における等価時間のほうが長いとい

うことは、サッケードにより刺激の見えの持続時間が増大したことを示している。

実験2では、視覚刺激であるテスト刺激の見えの持続時間を聴覚参照刺激を用いて測定した。サッケードの開始から45 ms後に呈示されたテスト刺激の見えの持続時間は132.8 msであった。テスト刺激の呈示の時間遅れを200 msとしたときの見えの持続時間は100.6 msであった。サッケードにより刺激の見えの持続時間が増大することが示された。これは実験1の結果を支持している。

テスト刺激の強度をそれぞれ0.2, 0.4, 0.6 log低下させた条件での見えの持続時間は89.3 ms, 106.6 ms, 103.0 msであった。本研究で示されたサッケードによる刺激の見えの持続時間の増大は、サッケード抑制による刺激の明るさの低下に伴う二次的なものではなく、別の効果であると考えられる。

ここで、サッケード直後に呈示された刺激が長く知覚されるメカニズムについて考えてみる。視覚系は時間伝達特性の異なる複数のチャンネルをもつことが明らかにされている。サッケード抑制は時間的高周波成分を伝達するチャンネルに強く働くと仮定すると実験結果を説明することができる。テスト刺激は時間的には矩形波状に呈示されるが、サッケードにより高周波成分が抑制され、応答がゆっくりとしたものになるのではないだろうか。実験2は80 msのテスト刺激がそれよりも長い持続時間に知覚されることを示しており、この仮説を支持している。

サッケードによりテスト刺激の見えの持続時間が増大するという実験結果は、サッケード抑制が時間応答の速い輝度チャンネルに選択的に働いていると考えられるとよく理解することができる。これまでの研究により、サッケード抑制は輝度応答により強い効果をもつことが明らかにされている¹³⁻¹⁵⁾。一方、Schwartz & Loop²¹⁾は色と輝度の刺激の時間的な見えの違いについて報告している。白色背景刺激の上に単色光(680 nmまたは620 nm)と白色光の閾値付近の増分刺激を呈示し、刺激の見えについて被験者からの応答をとった。単色光刺激はゆっくりとした変化として知覚され、白色光刺激はフラッシュのような、あるいは階段状の変化として知覚されることを明らかにした。この見えの違いが知覚される持続時間に影響を与えている可能性は高い。本研究で用いた刺激は660 nmの単色光の閾上の増分刺激であり、色の成分と輝度の成分の両方をもつと考えられる。サッケードにより輝度成分が抑制され色成分の見えが優位に

なり、持続時間が長く知覚されるのではないだろうか。実際、Bowen²⁰⁾は色刺激の輝度成分を取り除くことにより、刺激の見えの持続時間が増大することを示している。

高周波成分に感度をもつチャンネルは外界の時間的変化を検出する役割を担っていると考えられる。サッケード時に必要な視覚情報処理は、サッケードに伴う網膜像の変化を外界の変化から区別し、知覚から取り除くことである。過渡的な変化にตอบสนองするチャンネルを抑制することはサッケード時の視野の安定のために有効であると考えられる。

6. ま と め

視覚刺激の見えの持続に及ぼすサッケードの影響を測定した。サッケード直後に呈示された刺激は、固視時に呈示された刺激に比べて見えの持続時間が増大することが明らかになった。さらに、サッケード抑制による刺激の明るさの低下による効果を調べるために、テスト刺激の強度を低下させたときの見えの持続時間を測定した。サッケード抑制の程度明るさを低下させても、見えの持続時間の増大は生じなかった。実験結果は、サッケード抑制が視覚応答の過渡的な成分に対して選択的効果をもつという仮説を支持するものである。過渡的な成分を抑制することは、サッケード時の視野の安定において有効であると考えられる。今後は、サッケード抑制が視野の安定において実際にどの程度寄与しているのかを明らかにすることが必要であろう。

本研究を進めるにあたり、多くの助言を与えてくださった広島市立大学の中野靖久助教授、通商産業省工業技術院生命工学工業技術研究所の氏家弘裕博士に感謝いたします。この研究は日本学術振興会特別研究員制度によって援助されています。

文 献

- 1) 塩入 論: “サッケード抑制, 視野安定およびサッケード統合”, 眼球運動の実験心理学, 菅坂良二, 中溝幸夫, 古賀一男編(名古屋大学出版会, 1993) pp. 101-122.
- 2) 石田泰一郎: “跳躍眼球運動時の視野の安定”, 光学, **23** (1994) 9-16.
- 3) P. L. Latour: “Visual thresholds during eye movements,” *Vision Res.*, **2** (1962) 261-262.
- 4) F. C. Volkman: “Vision during voluntary saccadic eye movements,” *J. Opt. Soc. Am.*, **52** (1962) 571-578.
- 5) D. M. MacKay: “Elevation of visual threshold by displacement of retinal image,” *Nature*, **225** (1970) 90-92.
- 6) F. W. Campbell and R. H. Wurtz: “Saccadic omission: Why we do not see a grey-out during a saccadic eye movements,” *Vision Res.*, **18** (1978) 1297-1303.
- 7) B. A. Brooks, D. M. Impelman and T. Lum: “Influence of

- background luminance on visual selectivity during saccadic eye movements," *Exp. Brain Res.*, **40** (1980) 322-329.
- 8) L. A. Riggs, P. A. Merton and H. B. Morton: "Suppression of visual phosphenes during saccadic eye movements," *Vision Res.*, **14** (1974) 997-1011.
 - 9) L. A. Riggs, F. C. Volkmann, R. K. Moore and A. G. Ellicott: "Perception of suprathreshold stimuli during saccadic eye movement," *Vision Res.*, **22** (1982) 423-428.
 - 10) L. A. Riggs and K. A. Manning: "Saccadic suppression under conditions of whiteout," *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.*, **23** (1982) 138-143.
 - 11) E. Martin: "Saccadic suppression: A review and an analysis," *Psychol. Bull.*, **81** (1974) 899-917.
 - 12) F. C. Volkmann: "Human visual suppression," *Vision Res.*, **26** (1986) 1401-1416.
 - 13) 佐藤雅之, 内川恵二: "サッケード抑制に伴う増分閾分光感度の変化," *光学*, **21** (1992) 477-480.
 - 14) D. C. Burr, M. C. Morrone and J. Ross: "Selective suppression of the magnocellular visual pathway during saccadic eye movements," *Nature*, **371** (1994) 511-513.
 - 15) K. Uchikawa and M. Sato: "Saccadic suppression to achromatic and chromatic responses measured by increment-threshold spectral sensitivity," *J. Opt. Soc. Am. A*, **12** (1995) 661-666.
 - 16) P. Gouras: "Identification of cone mechanisms in monkey ganglion cells," *J. Physiol.*, **199** (1968) 533-547.
 - 17) P. E. King-Smith and D. Carden: "Luminance and opponent-color contributions to visual detection and adaptation and to temporal and spatial integration," *J. Opt. Soc. Am.*, **66** (1976) 709-717.
 - 18) D. H. Kelly and D. van Norren: "Two-band model of heterochromatic flicker," *J. Opt. Soc. Am.*, **67** (1977) 1081-1091.
 - 19) P. H. Schiller and J. G. Malpeli: "Functional specificity of lateral geniculate nucleus laminae of the rhesus monkey," *J. Neurophysiol.*, **41** (1978) 788-797.
 - 20) R. W. Bowen: "Latencies for chromatic and achromatic visual mechanisms," *Vision Res.*, **21** (1981) 1457-1466.
 - 21) S. H. Schwartz and M. S. Loop: "Differences in temporal appearance associated with activity in the chromatic and achromatic systems," *Percept. Psychophys.*, **33** (1983) 388-390.
 - 22) A. M. Derrington and P. Lennie: "Spatial and temporal contrast sensitivities of neurones in lateral geniculate nucleus of macaque," *J. Physiol.*, **357** (1984) 219-240.
 - 23) K. Uchikawa and M. Ikeda: "Temporal integration of chromatic double pulses for detection of equal-luminance wavelength changes," *J. Opt. Soc. Am. A*, **3** (1986) 2109-2115.
 - 24) W. H. Swanson, T. Ueno, V. C. Smith and J. Pokorny: "Temporal modulation sensitivity and pulse-detection thresholds for chromatic and luminance perturbations," *J. Opt. Soc. Am. A*, **4** (1987) 1992-2005.
 - 25) G. Sperling: "The information available in brief visual presentations," *Psychol. Monogr.*, **74** (1960) 1-29.
 - 26) R. Efron: "The relationship between the duration of a stimulus and the duration of a perception," *Neuropsychologia*, **8** (1970) 37-55.
 - 27) R. Efron: "The minimum duration of a perception," *Neuropsychologia*, **8** (1970) 57-63.
 - 28) R. Efron: "Effect of stimulus duration on perceptual onset and offset latencies," *Percept. Psychophys.*, **8** (1970) 231-234.
 - 29) M. Coltheart: "Iconic memory and visible persistence," *Percept. Psychophys.*, **27** (1980) 183-228.
 - 30) S. Shioiri and P. Cavanagh: "Visual persistence of figures defined by relative motion," *Vision Res.*, **32** (1992) 943-951.
 - 31) 井上哲理: "リンバストラッカーによる眼球運動測定法: 原理と実際," *Vision*, **3** (1991) 77-80.
 - 32) D. J. Finney: *Probit Analysis*, 3rd ed. (Cambridge University Press, London, 1971).