

## 研究速報

位置変化および速度変化の検出に対する  
サッケードの影響

中村 博久・塩 入 論・久保 走一

千葉大学工学部画像工学科 〒263 千葉市稲毛区弥生町 1-33

(1993年1月22日受付, 1993年4月14日受理)

## Detection of Displacement and Velocity Change across Saccade

Hirohisa NAKAMURA, Satoshi SHIOIRI and Souichi KUBO

Faculty of Engineering, Chiba University, 1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263

(Received January 22, 1993; Accepted April 14, 1993)

We measured the detection threshold of displacement and that of velocity change in drifting sinusoidal gratings across saccade in order to investigate the effect of saccade on the two types of detection. The detection threshold of displacement was found to be much higher than the threshold measured during eye fixation period, as is known for stationary stimuli. However, no such threshold elevation was found for the detection of velocity change. These results suggest that two different mechanisms exist for detection of displacement (one is very sensitive to displacement and suppressed by saccade, and the other is less sensitive and not suppressed by saccade), and the same mechanism works for the detection of velocity change across saccade and during fixation.

## 1. はじめに

私たちは頻繁にサッケード眼球運動を行うことによって情報収集し、外界を認識している。サッケードが生じると、その前後において視覚情報の入力である網膜像は大きく変化する。しかしこのような入力変化にもかかわらず、私たちは整合的な連続した外界を知覚している。このことから、視覚系にはサッケード前後の網膜情報を統合するメカニズムが存在すると考えられる。そのためにはサッケード前後の網膜像を比較し、対応づける必要があると考えられるが、視覚系はサッケードによる網膜像の位置変化を完全には補正できないことが知られている<sup>1-3)</sup>。例えば、Bridgemanら<sup>4)</sup>は、サッケード中に刺激に位置変化を与えその検出能を測定したが、サッケード中の刺激移動の知覚は注視中に比べて顕著に劣化することを報告している。位置情報についてのサッケード前後の統合は完全ではないことになる。それでは、色、速度など他の種類の情報はどうか。サッケードの介入した場合の視覚情報処理を考える上では、他の様々

な種類の情報に対するサッケードの影響を考えることが重要であると考えられる。本研究では運動する刺激を用い、サッケード前後での位置変化検出に加え速度変化検出について検討する。

## 2. 方 法

## 2.1 刺激および装置

刺激画像はコンピュータ (Macintosh IIcx) 制御のディスプレイ上に呈示され、Fig. 1 に示すように上下一組の水平格子縞と固視点から構成されている。水平格子縞はサイン波状の輝度分布を持っており、輝度コントラスト 99.5%、平均輝度 32.3 cd/m<sup>2</sup> である。上下の格子縞は垂直方向に等速運動し、両者とも視野の外側へ向かう方向に運動する。水平格子縞の波数は 1, 2, 4 cycle の 3種類を設定し、それぞれの空間周波数は 0.22, 0.43, 0.86 cpd となる。ここで水平格子縞を用いたのは、サッケードによる網膜像の変化を最小限にするためである。また、固視点は上下の格子縞間に1点呈示され、背景は一様なグレー (20.1 cd/m<sup>2</sup>) である。観察距離

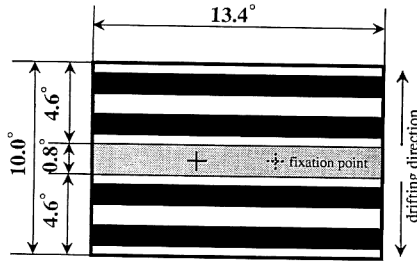


Fig. 1 Schematic view of the stimuli used in the experiments.

は 1 m であり、刺激全体の大きさは横 13.4°, 縦 10° である。

眼球運動は、リンバストラッカー法により水平方向成分のみを測定する。眼球の水平位置に対応した信号は、1 ミリ秒ごとに AD コンバータ (MacADIOS) を介してコンピュータに取り込まれ、その差分により眼球運動の速度が計算される。ここでは眼球運動速度が 125 deg/s を越えたときサッケード開始と判断した。この判断は 4 ミリ秒間の変化の大きさを判定しているため、この速度を越えてから検出までの遅れ時間は 4 ミリ秒かかる。また、実験ではサッケード開始の検出から刺激に変化を加えるが、この刺激画面の切り替えにはディスプレイの走査時間の制約から 15 ミリ秒要する。したがって、サッケード開始から刺激に変化を加えるまでの遅れ時間は最大約 19 ミリ秒である。

### 2.2 実験手順

刺激の変化 (位置変化あるいは速度変化) を与えるタイミングはサッケード中と注視中の二つの条件を設定する。サッケード条件と注視条件は同一セッション内でランダムに行われ、被験者は刺激呈示前にそれがいずれの条件であるか知ることはできない。また、位置変化条件と速度変化条件は別のセッションで行われる。

1 回の試行は、まず水平格子縞がディスプレイ上に呈示され、ある一定の速度で運動を開始することで始まる。刺激が 1 秒間運動を続けた後、固視点が消え、同時に水平方向 5° 離れた位置に新しい固視点を呈示する。それに伴い、被験者は新しい固視点へサッケードを行う。サッケード条件では、サッケード開始後ただちに、また注視条件ではサッケード開始から 300 ミリ秒の遅延後に、位置変化あるいは速度変化を与える。刺激はその後 1 秒間運動を続け、ディスプレイから消える。刺激呈示の終了後、被験者は変化の有無を yes か no かで応答する。

位置変化条件では、刺激の運動速度は位置変化を与え

る前後で変化せず、1.4 deg/s である。位置変化は、運動刺激の進行方向の順方向と逆方向に与えられ、それぞれ変化量は刺激の  $-1/2 \sim 1/2$  cycle の範囲内で 14 種類を設定する。この位置変化は、等速運動する水平格子縞が運動方向 (あるいはその逆方向) へ突然のジャンプを起こしたように観察される。ここで、位置変化量 0 は、刺激が等速運動を続け、ジャンプが起こらないことを示す。

速度変化条件では、刺激はある一定の速度 (基準速度) からの速度変化を起こし、速くあるいは遅く運動することになる。運動刺激の基準速度は 1.4 deg/s とし、そこから速度変化量は、 $-0.6 \sim 0.75$  deg/s の範囲内で 14 種類を設定する。正の値は刺激の運動速度が基準速度から増加することを示し、負の値は減少することを示す。

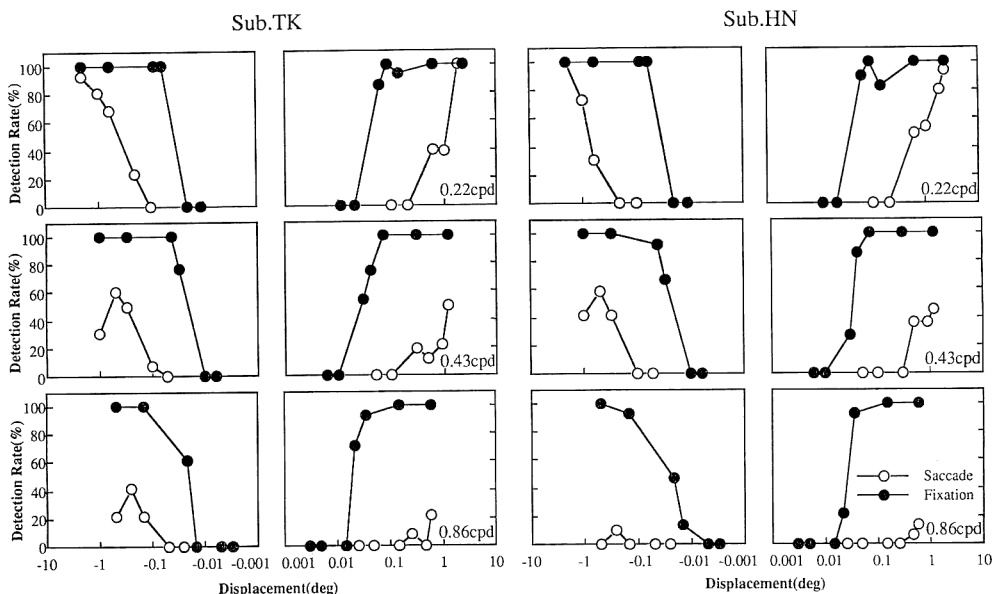
実験は恒常法を用い、各変化量に対する検出率が測定された。サッケード条件については、実験後眼球運動データを解析し、刺激変化がサッケード後に生じた試行はデータから除いた。ここで用いた判断基準から求めたサッケード時間の平均は 20.7 ミリ秒であり、除かれたデータは全試行の 27% であった (まばたきなどによるものも含む)。なお、被験者は 20 代の男性 2 名であった。

### 3. 結果と考察

位置変化条件の結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2 は 3 種類の空間周波数の刺激の結果である。横軸は、刺激の位置変化量を示しており、正の値は運動方向の順方向への位置変化量、負の値は逆方向へのものを表している。縦軸は、それぞれの位置変化量に対する検出率 (15 試行以上) である。各シンボルは、黒丸が注視条件、白丸がサッケード条件に対応している。

Fig. 2 より、注視条件とサッケード条件どちらの場合においても、変化量が大きくなるにつれてその検出率が上昇していくことがわかる。しかし、注視条件とサッケード条件での結果を比較すると、検出能力に大きな違いが見られる。例えば被験者 TK の空間周波数 0.22 cpd の刺激について、注視条件では 0.1° (0.02 周期) 程度の位置の変化ですでに検出率は 100% を示す。それに対してサッケード条件では 2.3° (0.5 周期) の位置の変化ではじめて検出率が 100% を示す。

ここで位置変化の検出率が 50% となる変化量を検出閾値とし、順方向と逆方向の検出閾値の差を検出不能範囲と定義する。各被験者について求めた検出不能範囲を Table 1 に示す (ただし、0.86 cpd では最大の位置変化



**Fig. 2** Detection rate as a function of displacement size for the gratings of 0.22 cpd, 0.43 cpd and 0.86 cpd. Subjects TK and HN. Open symbols represent the result in the saccade condition, and filled symbols represent the result in the fixation condition.

**Table 1** Undetectable interval (deg) and the ratio of intervals between conditions.

	Condition		Ratio (Saccade/Fixation)	
	Fixation	Saccade		
TK	0.22 cpd	0.098	1.18	12.04
	0.43 cpd	0.051	1.45	28.43
	0.86 cpd	0.038	—	—
HN	0.22 cpd	0.084	1.38	16.43
	0.43 cpd	0.060	1.60	26.67
	0.86 cpd	0.049	—	—

量でさえ検出率が 50% 以下であるため、サッケード条件での閾値が求まらない)。Table 1 には、注視条件とサッケード条件での検出不能範囲の比も示してある。いずれの被験者でも全ての空間周波数でサッケード条件の検出不能範囲は注視条件の 10 倍以上と大きな差があることがわかる。これらの結果は、サッケード前後での位置変化の検出には、注視時に比べて非常に大きな変化量が必要であることを意味する。これは、静止刺激を用いたサッケード前後の位置変化検出の実験結果と一致しており<sup>2)</sup>、運動刺激に対しても静止刺激と同様に、サッケードにより位置変化の検出能が劣化することを示している。

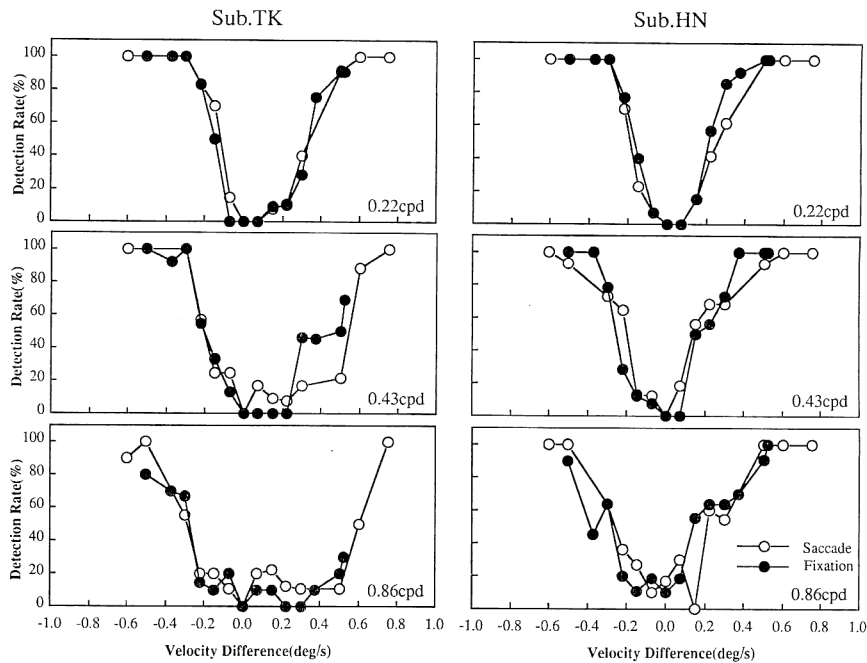
また、検出不能範囲の空間周波数依存性もサッケード

条件と注視条件では異なる。検出不能範囲は注視条件では高周波の刺激ほど狭くなるのに対し、サッケード条件では反対に広がる傾向がある。さらに、この検出不能範囲の変化は、注視条件に比べサッケード条件でのほうが顕著である (0.86 cpd のときは刺激の半周期の変化に対してもほとんど検出できない)。

次に速度変化条件の結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 は 3 種類の空間周波数の刺激の結果である。横軸は基準速度からの速度変化量を示しており、正の値は運動速度が増加する速度変化量、負の値は減少するものを表している。縦軸は、それぞれの速度変化量に対する検出率である。Fig. 2 と同様に、黒丸が注視条件、白丸がサッケード条件に対応している。

Fig. 3 より、注視条件とサッケード条件どちらの場合においても、変化量が大きくなるにつれてその検出率が上昇することがわかる。両条件での結果を比較すると、どの速度変化に対してもよく似た検出率を示していて、条件間に大きな差は見られない。

速度変化の検出率が 50% となる変化量を検出閾値とし、速度の増分方向と減分方向の閾値の差 (検出不能範囲) を求めた結果を Table 2 に示す (ただし、0.86 cpd の注視条件は外挿により求めた値である)。いずれの被験者、全ての空間周波数に対して、注視条件とサッケード条件での検出不能範囲の比は 1 付近である。これは位



**Fig. 3** Detection rate as a function of velocity change for the gratings of 0.22 cpd, 0.43 cpd and 0.86 cpd. Subjects TK and HN. Open symbols represent the result in the saccade condition, and filled symbols represent the result in the fixation condition.

**Table 2** Undetectable interval (deg/s) and the ratio of the intervals between conditions.

	Condition		Ratio (Saccade/Fixation)
	Fixation	Saccade	
0.22 cpd	0.48	0.46	0.96
TK 0.43 cpd	0.81	0.76	0.94
0.86 cpd	0.85	0.89	1.05
0.22 cpd	0.38	0.45	1.18
HN 0.43 cpd	0.41	0.34	0.83
0.86 cpd	0.42	0.47	1.12

置変化の検出と異なり、サッケード前後での運動刺激の速度変化に対する検出能力は、注視時での検出能力とほとんど変化しないことを意味する。

また、両条件とも検出不能範囲は刺激の空間周波数が高くなるにつれて広くなり、これは位置変化の検出でのサッケード条件の結果と一致する。

このような結果は、視覚処理には注視時のみに機能するものとサッケードの有無にかかわらず機能するものが存在すると考えることで説明できる。位置変化の検出に関しては両方のタイプの機能が、注視時は注視時のみ働く感度の高いメカニズムが変化の検出を行って

て、サッケードを介することによりそのメカニズムが働かなくなり、もう一方のメカニズムが検出を行う。それに対して速度変化に関しては、サッケードの影響を受けないメカニズムのみが存在し検出を行うと考えればよいわけである。事実、検出能力の空間周波数依存性もこの考えを支持する。位置変化の検出では、注視条件で高周波の刺激ほど検出能力が上昇するのに対し、サッケード条件で急激に低下する。一方、速度変化の検出ではいずれの条件も高周波の刺激ほど検出能力が低下する。前者は二つの異なるメカニズムの存在を、後者は単一のメカニズムの存在を示唆している。

また、この考えは被験者の内観報告とも一致している。注視条件では刺激の変化が水平格子縞の一瞬のはっきりしたジャンプとして知覚されるのに対して、サッケード条件では不明瞭な不連続が知覚され、「何となくおかしい運動」として感じられる。一方、速度変化の検出ではサッケード条件と注視条件で特別な違いはないと報告されている。

位置変化の検出のサッケードに伴う感度低下は、網膜像の位置のずれの検出というより動きの検出能力が抑制されているとの考えがある<sup>3)</sup>。もしそうであれば、注視中の位置変化の検出は動きの検出器によって高感度に検

出され、サッケードを介した場合は運動検出器の働きは抑制されるため位置そのものの情報に基づく別のメカニズムにより検出されていることになる。それに対して、速度変化の検出ではそのような二重性はなく、サッケードによる抑制などの影響を受けない一つのメカニズムのみが働いていると考えればよいわけである。このようなサッケードの影響を受けずに網膜情報を比較するメカニズムは、サッケード前後の網膜像の統合に寄与している可能性があり、今後詳細な検討が必要であろう。

#### 4. ま と め

サッケード前後での位置変化の検出能力が注視時に比べ大きく劣化するのに対して、速度変化の検出能力は

サッケード前後、注視時にかかわらず同等であることが明らかにされた。これは、位置変化の検出に対しては注視時とサッケード前後では異なるメカニズムが存在し、速度に対しては同一のメカニズムが働いていることを示唆する。

#### 文 献

- 1) B. Bridgeman, D. Hendry and L. Stark: "Failure to detect displacement of visual world during saccadic eye movement," *Vision Res.*, **15** (1975) 719-722.
- 2) 石田泰一郎, 池田光男: "サッケード前後の視野統合可能変位量", *光学*, **19** (1990) 673-681.
- 3) S. Shioiri and P. Cavanagh: "Saccadic suppression of low-level motion," *Vision Res.*, **29** (1989) 915-928.