サッカード前後の視覚情報の統合過程における 注視位置と空間的注意の分析

学生会員 小 濱 剛[†], 齋 藤 剛[†], 新 開 憲[†],
正 会 員 山 田 光 穂^{††}, 正 会 員 白 井 支 朗[†], 正 会 員 吉 田 辰 夫[†]

An Analysis of Fixation Points and Spatial Attention in the Process of Visual Information Integration Across a Saccade

Takeshi Kohama[†], Tsuyoshi Saitoh[†], Ken Shinkai[†],
Mitsuho Yamada^{††}, Shiro Usui[†] and Tatsuo Yoshida[†]

Abstract This study examines a contribution of the visual system to the acquisition of visual information during saccadic eye movements (saccade). In the experiment, when the observer made a saccade, the location of a Kanji character displayed on a CRT screen was transferred a random distance and direction, or was kept at the original position. When the character was transferred to a new position, the recognition rate of the character decreased proportionally to the increase in distance between the fixation point after the saccade and the center of the character, in comparison with the case when the character was kept at the original position. We attempted to control the spatial attention during the same tasks. The result suggests that the spatial attention before a saccade might also be involved in the process of visual information acquisition during saccades and the visual system may integrate the positional information into the visual feature information.

1. ま え が き

視覚系に取り込まれる情報は、網膜上に投影される外界像を視細胞を介して取り込んだ後、脳内の様々な段階を経ながら必要に応じた処理が施される。しかし、網膜上の錐体の分布に偏りがあるために、視覚情報の空間分解能は、錐体分布の最も密な中心窩の部分で最も高く、中心窩から離れるに従って急激に低下する。したがって、視覚系は、より詳細な情報を獲得するた

めに注視点を移動させて中心窩の像を更新しなければならない。

このような網膜像の更新は、サッカード (saccade, 跳躍眼球運動) によって頻繁に行われているが、普通、網膜像の急激な変化によって外界の像が流れて見えることはない。これはサッカード抑制 (saccadic suppression)¹⁾ と呼ばれる現象で、視覚系にはサッカード中の網膜像の急変を知覚しない機構が備わっているものと考えられている。

キーワード：サッカード、視覚系、視覚情報、注視点、認知過程、空間的注意

1995年7月27日、1995年テレビジョン学会年次大会で発表

1996年4月8日受付、1996年7月5日再受付

[†] 豊橋技術科学大学 (〒441 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, TEL 0532-47-0111)

^{††} NHK 放送技術研究所 (〒157 東京都世田谷区砧 1-10-11, TEL 03-5494-2278)

[†] Toyohashi University of Technology (1-1, Hibarigaoka, Tenpaku-cho, Toyohashi-shi, Aichi 441, Japan)

^{††} NHK Science & Technical Research Laboratories (1-10-11, Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo 157, Japan)

一方、視覚系は、中心窩以外の周辺部分に何らかの変化が生じた際、注視点の移動が生じる以前の段階で、新たに予定された注視点を中心としてその周辺に存在する視覚情報の処理を開始することが明らかになっており²⁾、脳内において注視点の移動が決定されると同時に進行する情報処理機構が存在することは明らかである^{3)~7)}。このことから、視覚系は、注視点の移動を計画すると同時に新たに予定した注視点付近に存在する視覚情報を優先的に処理し、さらに注視点移動後には中心窩近傍から詳細な情報を得て外界情報を取り込んでいることが予想される。

これらのことを考慮すると、視覚系は、注視点の移動を計画する以前の視野内の大まかな情報を、空間的な位置を表現する地図のような形で一時的に確保し、注視点の移動の計画およびその実行後のそれぞれの段階で獲得した情報を、例えば最初に確保した地図と移動後に獲得した情報を照合するなど、なんらかの方法で統合することによって最終的に対象の認知に至るのではないであろうか。ただし、ここでは、視覚系には注視点の移動前に一時的に確保した情報に対して、注視点の移動後においてもその絶対的な空間位置を保持するように補正する機構が備わっていることを仮定しているが、このような機構が存在することは生理学的にも知られている⁸⁾。

石田ら⁹⁾によると、サッカード中に刺激の位置を変化させた場合、変位の大きさがサッカードの大きさの約20%以下であれば、その移動は知覚されない。このことから、視覚系はサッカードの前後で獲得した情報を照合しつつ統合していることが推察できる。しかし、これは、ある画像を数秒間にわたって観察した際の被験者の知覚について調べたもので、対象の認識が充分に行われた後の眼球運動が多分に含まれているものと考えられる。したがって、解析されたサッカードは、対象の認識過程における情報獲得のためのサッカードとは性質が異なるかもしれない。対象の認知過程において、注視点の移動前後において獲得された情報が高次の処理過程でどのように統合され認識に至るのかは、まだ明らかにされていない。

本研究では、注視点移動前後で獲得された視覚情報が統合され認識に至るプロセスを明らかにすることを目的として、注視点の移動前後で同じ漢字を2度短時間呈示する実験を行った。このとき、中心窩に収まりきらない比較的大きな漢字を用い、さらに1回の呈示だけでは十分な認識が行えないよう呈示時間を設定した。このような条件のもとで生じる注視点の移動は、対象をより正確に認識するために必要な情報の獲得の

ために生じていると考えられる。実験1では、漢字が2度とも同じ位置に呈示された場合と、2度目の呈示が1度目の呈示位置からランダムな大きさだけずらされた場合について、それぞれの漢字の認識率を求め、刺激の移動量と移動後の注視点位置がどのように視覚系の情報獲得と認知のプロセスに関わっているかについて考察した。実験2では、注視点移動前後の視覚情報の処理過程に空間的注意がかかわっているものと仮定し、注意が向けられた場合とそうでない場合について実験1と同様の考察を行った。

2. 実験システム

本実験に用いたシステム¹⁰⁾の概要を次に示す。

被験者の眼球運動の測定には、鞏膜反射法¹¹⁾により光学的に測定する装置を用いた。眼球運動データの記録と刺激画像の切替制御には、パーソナルコンピュータ(PC-9821Ap)を用いた。本システムでは、1台のパーソナルコンピュータのみでサッカードの検出およびそれに連動した呈示画像の切替制御を実現している。眼球運動はディスプレイの垂直同期信号(72 Hz)に同期させて計測されるため、そのサンプリング周波数は72 Hzである。また、視線の移動が10 deg/secを上回った時、サッカードが発生したものと判定した。刺激呈示用ディスプレイには21インチCRTを使用し、視距離を640 mmにすることで視角にして約24×24 degの範囲内で刺激の呈示を可能とした。

3. 実験1(注視点移動前後において獲得される情報の統合に関する実験)

3.1 実験方法

本研究では注視点の移動前後で獲得された視覚情報の統合過程の解明を目的としているため、呈示される刺激の全体像が高解像度で視覚系に入力されてしまうと注視点の移動が情報獲得のために生じたものであると考えられなくなる。視覚解像度は中心窩から5 deg程度離れると中心窩の30%程度にまで低下することが知られていることから、視覚系は注視点から半径5 deg程度の領域全体を高解像度で捉えることはできないものと判断し、呈示刺激である漢字の大きさを視角10×10 degとした。

実験の1試行の手順を図1に示す。

各試行は、被験者がマウスをクリックすることによって開始される。実験の開始と同時に刺激呈示用モニターの中央に注視視標(直径0.8 degの円形と1.6 degの十字形で構成される)が2 sec間呈示される(図1(a))。注視視標の呈示と同時におよびその1秒後にビーブ音が

図1 実験1のタイムチャート
Visual display and time chart of experiment 1.

呈示され、次の画面に移行するタイミングを被験者に知らせる。被験者には、あらかじめこの視標を注視するように教示しておく。

注視視標の呈示が終了すると直ちに、刺激である漢字が2フレームの間(約28ms)呈示される(図1(b), 第1漢字)。第1漢字の呈示位置は、その呈示領域を9ブロックに分割したうちの周辺に位置する8ブロックのいずれかの中心が注視点と一致するように決定した(図1(b.2))。ここで、漢字の呈示領域とは、漢字のグラフィックラムの余白部分を含めた正方形の領域(図1(b.2)の網掛けされた領域)を表すものとする。

第1漢字の呈示終了と同時に、マスクパターン(図1(c))を56msの間呈示し、これに続いて、漢字が呈示された位置を被験者に知らせるための枠図形(図1(d))を呈示する。マスクパターンと枠図形は、それぞれ漢字と同じ大きさである。被験者が呈示された漢字の詳細を知るために注視点の移動(サッカド)を行うと、これが検出された後28msのブランク(図1中の*)をおいて枠図形の呈示を中止し、直ちに任意の位置にもう一度同じ漢字(図1(e), 第2漢字)を2フレームの間呈示する。このブランクは、サッカド直後のサッカド抑制¹⁾の時間帯を避けるために設けた。第2漢字の呈示が終了すると、直ちにマスクパターン(図1(f))を呈示する。

被験者が無意味に注視点を移動させることを防ぐため、第2漢字の呈示位置には以下のような条件を設けた。また、第1漢字の呈示と異なって、第2漢字の呈示は、サッカド後の注視点が第2漢字の呈示領域

図2 実験1の刺激呈示条件
Stimulus exposure condition in experiment 1.

客	容	案	審	突
楽	集	栗	条	某
錐	鋌	鉄	錦	錯
維	雑	誰	難	稚

図3 漢字グループ
Kanji group used for the experiment.

内にあることだけを条件として決定し、サッカド後も刺激上のどこかに注視点位置するようにした(図1(e.2))。

呈示条件 (Exposure Condition)

EC1.1: 第1漢字と同じ位置に呈示する。(全試行の25%)

EC1.2: 第1漢字の呈示位置から任意の方向にランダムな大きさだけ移動させて呈示する。(全試行の50%)

EC1.3: 第2漢字の呈示を行わない。(全試行の25%)

これらの条件を満たすよう、第2漢字の呈示位置はサッカド終了の判定と同時にリアルタイムで計算を行った。なお、EC1.2では、第2漢字の移動量は最大で約14degとした。

図2に各呈示条件による刺激呈示例を示す。白抜き漢字が注視点のサッカド前に呈示される第1漢字であり、白丸はこの時の注視点を示している。また、黒抜き漢字は第2漢字の呈示位置を示しており、黒丸はサッカド後の注視点位置を示している。

刺激漢字の選出基準にしたがって、実験を次の2種類に区別した。

Exp.1(a) あらかじめ被験者に知らせておいた20文字の漢字グループ(偏, 旁, 冠, 脚の部首別の4つのカテゴリからそれぞれ5文字ずつ選択した計20文字)の中からランダムに選出される。ただし、1回のセッション中に各漢字が必ず1度は呈示されるようにした。図3に、実験に用いた漢字グループ

を示した。

Exp.1 (b) 512 文字の漢字グループ (Exp.1 (a) と同じ文字を除いて JIS 第 1 水準から無作為に選択した) の中からランダムに選出される。ただし、全セッションで 512 試行とし、各被験者は全セッションを通じて同じ文字を見ることはない。また、被験者には、どのような文字が呈示されるのか知らせていない。

被験者には、読み取った漢字を、Exp.1 (a) では筆記または選択画面による入力を、Exp.1 (b) では筆記するように教示しておく。選択画面は、実験に用いた漢字セットのすべての文字と、部首などの漢字を構成するいくつかの要素から構成されており、被験者は自分が何を選択しているのか常に確認することができる。被験者が自然に試行が行えるようになるまで数セッションの練習を行った後、32 試行を 1 回のセッションとして各被験者で 30 セッションの実験を行った。被験者は正常な視力を有する 23~25 歳の男性 3 名 (TK, TS, OS) である。

3.2 実験結果

刺激が呈示されてから実際にサッカードが生じるまでの潜時 (saccadic latency) が極端に短い試行 (100 ms 以下) や長すぎる試行 (500 ms 以上)、または、サッカード後の注視点が第 1 漢字の呈示領域から外れた試行については、あらかじめこれらを結果から除外した。それぞれの呈示条件における漢字の認識率を、Exp.1 (a) の結果を表 1 に、Exp.1 (b) の結果を表 2 に示す。表中の %RT は上記の条件に当てはまった除外された試行 (Reject Trial) の割合を示しており、被験者の実験試行への順応の度合を示すものといえる。

また、比較のために予備実験としてサッカード後に 1 度だけ漢字を呈示する実験を行った。この結果を表 3 に示す。

3.3 考察

(1) 呈示条件と認識率

Exp.1 (a) の結果 (表 1) から、全被験者において、漢字の呈示が 1 回だけの場合 (EC1.3, 表 3) より、2 回の呈示が行われた場合 (EC1.1, EC1.2) の方が認識率が高くなっている。特に、被験者 TK と TS においてはその差が有意であり (TK: $p < 0.001$, TS: $p < 0.001$)、第 2 漢字の呈示が漢字の認識率の向上に貢献しているといえる。

被験者 OS に注目すると、EC1.3 での認識率が 81.4% と他の被験者と比較して著しく高く ($p < 0.01$)、EC1.3 と他の条件との間に差があるとはいえない ($p > 0.05$)。このことは、被験者 OS が第 1 漢字から認識に必要な情報の大部分を獲得していたか、ある

表 1 Exp.1 (a) の結果
Percent correct and reject trial of Exp.1 (a).

S	%C (SD)			%RT
	EC1.1	EC1.2	EC1.3	
TK	84.5 (2.44)	76.6 (2.04)	49.1 (3.31)	8.0
TS	83.3 (2.61)	77.1 (2.07)	67.3 (3.32)	14.9
OS	88.4 (3.85)	86.6 (3.13)	81.4 (5.07)	36.7

S : Subject
%C : Percentage of Correct Answer [%]
SD : Standard Deviation
%RT : Percentage of Reject Trial [%]
EC : Exposure Condition

表 2 Exp.1 (b) の結果
Percent correct and reject trial of Exp.1 (b).

S	%C (SD)			%RT
	EC1.1	EC1.2	EC1.3	
TK	72.2 (3.99)	64.5 (3.04)	41.9 (4.43)	2.7
TS	79.4 (3.60)	68.3 (2.79)	62.4 (4.33)	2.3
OS	72.0 (4.65)	70.2 (3.32)	61.4 (4.85)	24.8

表 3 比較用実験結果
Percent correct and reject trial of comparative experiment.

S	%C (SD)	%RT
TK	53.8 (3.68)	4.17
TS	55.2 (3.68)	4.69
OS	62.7 (4.70)	12.0

いは、呈示文字数を 20 文字に限定したことにより、第 1 漢字から得た部分的な情報から呈示された漢字を類推していた可能性があることを示唆している。また、OS は視野が比較的広いとも考えられる。しかし、OS においては除外された試行の割合 (%RT) が他の被験者に比べて著しく大きいことから、試行に対して自然に振舞えなかったことも一因として考えられる。これらのことから、Exp.1 (a) では、OS を除く TK と TS について考察を行うものとする。

Exp.1 (b) (表 2) では、全体的に除外された試行の割合が減少しており、被験者はより自然に文字上に注視点を移動させていると考えられる。認識率については、20 文字の漢字を使った場合の実験に比べて全体的に低下しており、全被験者において漢字の呈示が 1 回だけの場合より、2 回呈示された場合の方が有意に高くなっている (TK: $p < 0.001$, TS: $p < 0.001$, OS: $p < 0.05$)。OS の EC1.3 における認識率が他の被験者と同程度になっていることから、Exp.1 (a) では呈示する文字を限定していたことが個人差の一因であったと思われる。

Exp.1 (a) では、TK, TS において、EC1.1 の方が

(a) Exp.1 (a)

(b) Exp.1 (b)

図4 Displacementに関する認識率の推移 (実験1)
Percent recognition as a function of “displacement”
of experiment 1.

EC1.2 よりも認識率が有意に高く (TK: $p < 0.001$, TS: $p < 0.05$), また, Exp.1 (b) ではすべての被験者に共通して EC1.1 の方が EC1.2 よりも高い認識率を示している (ただし, 全試行数を限定したことによりデータ数が少なくなったため, TS 以外は有意水準 5% では棄却できなかった). 両条件ともに被験者には注視点の移動前後で 2 度漢字を見る機会が与えられていたことから, 両条件間の認識率の相違は対象となる漢字が位置的に安定していたか否かによって生じたものと考えられる. したがって, 注視点の移動によって更新された視覚情報の統合過程では, 対象の位置の情報が関係していることが予想される.

(2) 漢字の移動量と認識率

次に, EC1.2 の結果において, 漢字の移動量と認識率の関係について解析した. この結果を図 4 に示す. 横軸の “displacement” は, 漢字の移動量を視角 (deg) で表したもので (図 5(a)), 第 2 漢字の呈示位置が第 1 漢字の呈示位置からどれだけ移動したかを示している. 縦軸は, 漢字の認識率を示しており, 例えば移動量が 0 deg 以上 1 deg 未満のものを総計して 0.5 deg の移動量における認識率として計算したものである.

本実験では, サッカー後の注視点が第 2 漢字の呈示領域内に収まることを条件として第 2 漢字の呈示位置を決定したため, 第 2 漢字の移動量が 10 deg を越える試行はほとんど存在せず, また, 横軸の各階級にはデータ数にバラツキが生じた. 図 4 では, 試行回数

(a) Displacement

(b) Distance

図5 パラメータの定義
Definition of the parameters for data analysis.

が充分でないと思われる階級 (各被験者ごとでは 10 試行以下, 2 人以上の被験者の試行を合わせたものでは 20 試行以下) からは表示していない. なお, このことは以降すべてのグラフに共通する.

Exp.1 (a) の結果を図 4 (a) に示す. TK, TS ともに, 回帰直線は負の傾きを示しており, 漢字のずれ量が大きくなるほど認識率が悪くなる傾向を示している (回帰係数: TK: $p < 0.05$, TS: $p < 0.05$).

図 4 (b) に Exp.1 (b) の結果を示す. 実験の全試行を 512 試行としたことによってデータ数が少なくなったこと, また, 全被験者において漢字のずれ量が大きくなるほど認識率が低下する傾向がみられ, 全被験者の結果を合計して得られた回帰直線に対して各被験者の認識率の推移に有意な差が認められなかった (TK: $p > 0.5$, TS: $p > 0.05$, OS: $p > 0.05$) ことから, 個人差が小さくなったものと見なし, 全被験者の合計についてのみ示した. 回帰直線は, 漢字のずれ量が大きくなるほど認識率が低下することを示している (回帰係数: $p < 0.01$). 呈示条件と認識率との関係についての考察から, サッカー前後の視覚情報の統合が対象の位置の情報に基づいて行われている可能性が示唆されたが, サッカー前後で対象が移動するような場合では, その移動量が大きくなるほど視覚情報の統合が難しくなるものと考えられる.

(3) サッカー後の注視点位置と認識率

視覚系はサッカーの期間およびその前後において一時的に外界の情報をシャットアウトすることが知られているが¹⁾, サッカーが終了した直後に視覚系が獲得した情報の分布を調べた実験²⁾では, 視覚系の情報獲得能力はサッカーの終了から 200 ms 程度の時間をかけて緩やかに回復することが示されている. したがって, 本実験の第 2 漢字のように比較的大きな文字がサッカー後に短時間呈示される場合は, 獲得される情報が注視点付近だけに制限されていると考えられ, 注視点位置と認識結果の間には何らかの関係があ

(a) Exp.1 (a)

(b) Exp.1 (b)

図 6 Distance に関する認識率の推移
Percent recognition as a function of "distance" of experiment 1.

ることが推察される。

そこで、サッカード後の注視点位置と漢字の認識結果との関係について解析した。Exp.1 (a) についての結果を図 6 (a) に、Exp.1 (b) についての結果を図 6 (b) に示す。横軸 "distance" は、サッカード後の注視点から第 2 漢字呈示領域の中心までの距離 (図 5 (b)) を示しており、図 4 と同様に階級を設けて、それぞれの階級における認識率を計算して表示した。

図 6 (a) では、TK, TS ともに、漢字の認識率は、移動後の注視点から第 2 漢字呈示領域の中心から離れるに従って低下する傾向が見られるが、回帰直線の傾きは EC1.1 の方が EC1.2 よりも緩やかである。また、ほとんどの区間において EC1.1 の方が EC1.2 と比較して認識率が高くなっていることがわかる。

Exp.1 (b) の結果については、図 4 (a) での考察と同様の理由から、3 人の被験者の合計を求めて図 6 (b) に表示した。図 6 (a) と同様に、両条件ともにサッカード後の注視点から第 2 漢字呈示領域の中心から離れるに従って認識率が低下するが、第 1 漢字の呈示位置と第 2 漢字の呈示位置がサッカードの前後で変化する場合 (EC1.2) は、変化しない場合 (EC1.1) に比較して、低下の傾きが大きくなるといえる。

第 1 漢字の呈示位置は呈示条件に無関係に決定されるため、第 1 漢字から得られる視覚情報は、両条件下で全く差がないことは明白である。また、第 2 漢字は、

Before a Saccade

After a Saccade

図 7 サッカード後の注視点位置から得られる視覚情報
Visual information which acquired around the fixation point before and after a saccade.

サッカード後の注視点がその呈示領域内に収まるように呈示されており、サッカード後に第 2 漢字から得られる視覚情報量にも両者で差はないものと考えられる。図 7 に、両条件間でサッカードの前後で獲得された視覚情報が等しくなる例を示した。

したがって、対象となる漢字に移動が生じたか否かということだけが、両条件間の認識率の推移に差をもたらしていると考えられる。すなわち、サッカード前後の視覚情報の統合には、対象の位置の情報が重要な役割を果たしているといえる。

4. 実験 2 (視覚的注意を統制した実験)

注意の移動がサッカードの準備と制御に不可欠であることが、注視点移動に先立つターゲット付近での知覚の促進効果^{12)~14)}や、注意の影響で眼球運動の軌跡が乱れること¹⁵⁾、視線を移動させなくても注意だけが急速に移動すること¹⁶⁾¹⁷⁾、サルの前頭連合野に注意を向けた時にだけ発火するニューロンが存在すること¹⁸⁾などから示されているが、本実験では、第 2 漢字が呈示される以前に必ず枠図形が呈示されており、このためサッカードの開始に先だって、被験者が枠図形の位置に注意を配分していた可能性が考えられる。

そこで、注意の働きが注視点移動前後での情報の統合にどのような影響をおよぼすかを明らかにする目的で、注視点移動前に注意を分散させるような刺激を呈示し、注意を統制する実験を行った。

4.1 実験方法

実験 1 では、枠図形は常に第 1 漢字と同じ位置に呈示されるが (図 1 (d))、実験 2 では、枠図形の呈示位置もランダムに移動させた。それ以外は、実験 1 と同じ手順で実験を行った。

各試行の刺激呈示条件は、枠図形の呈示位置と第 2 漢字の呈示位置に条件を設けることによって、以下の

図8 実験2の刺激呈示条件
Stimulus exposure condition in experiment 2.

4つの条件でコントロールされる。その一例を図8に示す。

呈示条件 (Exposure Condition)

EC2.1: 枠図形、第2漢字ともに第1漢字の呈示位置と同じ位置に呈示される。

EC2.2: 枠図形と第2漢字は同じ位置に呈示されるが、ともに第1漢字の呈示位置から任意の方向にランダムな量だけずらした位置に呈示される。

EC2.3: 枠図形は第1漢字からランダムな量だけずらされるが、第2漢字は1度目の漢字と同じ位置に呈示される。

EC2.4: 枠図形と第2漢字のそれぞれが第1漢字の呈示位置からランダムな量だけずらした位置に呈示される。

これら4種類の呈示条件は、それぞれ全試行の25%の割合でランダムに決定され、次にどの条件で呈示されるかは予測できない。被験者には、枠図形の呈示位置がランダムに移動することと、50%の確率で枠図形の呈示位置に第2漢字が呈示されることを教示した。

実験1では、被験者がどのような文字が呈示されるか知らされていない場合 (Exp.1 (b)) の方がより個人差が小さくなったことから、512文字の漢字を用い、32試行を1回のセッションとして各被験者で16セッション (合計512試行) の実験を行った。被験者は男性3名 (TK, TS, OS) で筆記による回答を教示した。各被験者は実験に先立ってそれぞれ数セッションの練習を行った。ただし、512文字の漢字はExp.1 (b) と同じものをを用いたが、Exp.1 (b) の終了から3週間程度の期間において実験を行ったために、被験者がこれらを記憶していた可能性は考えないものとする。

表4 実験2の結果
Percent correct and reject trial of experiment 2.

S	%C (SD)				%RT
	EC2.1	EC2.2	EC2.3	EC2.4	
TK	73.1 (4.00)	70.8 (4.64)	53.1 (4.69)	56.5 (4.62)	12.7
TS	81.6 (3.47)	69.4 (4.19)	67.5 (4.33)	56.6 (4.48)	5.27
OS	77.8 (4.38)	64.7 (5.18)	78.6 (4.48)	61.3 (5.67)	33.8

4.2 実験結果および考察

(1) 呈示条件と認識率

実験2の結果を表4に示す。

全被験者に共通して、EC2.1での認識率がExp.1 (b) のEC1.1の結果 (表2) とほぼ等しい。両実験間で、被験者の試行に対する基本的な振舞いには変化がないといえる。

被験者TKの結果には、EC2.1とEC2.2の間に差が見られず ($p > 0.05$)、この2つの条件に対して、EC2.3, EC2.4の結果は有意に低い ($p < 0.01$)。このことは、枠図形の呈示位置に第2漢字が呈示された場合に最も精度の高い処理が行われたことを示しており、枠図形を中心として注意を配分した結果が高次の処理に反映されていると思われる。したがって、注視点の移動が生じる以前に対象の位置を知ることが高次の処理に優位に働く場合のあることが示唆される。

被験者TSでは、EC2.2の結果はEC2.1に比較して有意に低い ($p < 0.05$)、EC2.2とEC2.3の間には差が見られない ($p > 0.05$)。実験1では、1度しか漢字を呈示しなかった場合に比較して、第2漢字の呈示を行った場合の方が認識率が有意に高いことが示されたが、TSのEC2.4の結果は、Exp.1 (b) のEC1.3、すなわち1度しか漢字が呈示されなかった場合に比べて有意に低くなっている ($p < 0.05$)。視覚系の空間的注意の性質を記述したズームレンズモデル¹⁹⁾によると、注意はある限界容量を持つ処理系であり、視野の広さと処理の精度がトレードオフの制約の中で配分される。被験者TSの結果に見られる傾向は、注意を1度目の漢字の位置と枠図形の位置に分散させたことにより獲得した情報に対する処理の精度が低くなったために生じたものであると考えられる。その結果として、第2漢字が第1漢字の位置とも枠図形の位置とも異なる位置に呈示された場合には、サッカード前後で獲得された情報の統合が妨げられていると思われる。

被験者OSは、EC2.1, EC2.3において高い認識率を示し、その間には差が見られない ($p > 0.05$)。EC2.1,

(a) EC2.1 and EC2.2

(b) EC2.3 and EC2.4

図9 Displacement に関する認識率の推移 (実験2)
Percent recognition as a function of "displacement"
of experiment 2.

EC2.3 では、漢字の呈示位置が第1漢字と第2漢字で変化しておらず、これらの条件で認識率が高いことから、OSは第1漢字の位置を中心に処理を継続して行うような戦略をとっていたと考えられる。また、EC2.2、EC2.4のそれぞれの結果とExp.1(b)のEC1.3の結果との間には有意差は見られない ($p > 0.05$)。OSは、第1漢字の呈示位置に注意の配分を集中したため、ここから外れた位置に呈示された第2漢字から得られた情報をうまく統合できなかったものと推測される。

(2) 漢字の移動量と認識率

次に、実験1と同様に漢字の移動量と認識率の関係について解析を行った。この結果を図9に示す。図9(a)は枠図形が第2漢字と同じ位置に呈示された場合 (EC2.2) の結果を、図9(b)は枠図形が第2漢字と異なる位置に呈示された場合 (EC2.4) の結果を示している。ただし、0 deg の認識率は漢字の移動が生じない試行 (図9(a)ではEC2.1, (b)ではEC2.3) の認識率を表している。また、直線は全被験者の試行を合わせて求めた回帰直線である。

図9(a)において、枠図形が第2漢字と同じ位置に呈示される場合は、移動量が大きくなるほど認識率が低下する傾向が見られる。これは、図4(b)にほぼ一致している。これに対して、図9(b)では区間ごとの認識

率のバラツキが大きく、試行全体の認識率も低くなることが示された。この結果から、枠図形が漢字以外の場所に呈示されたことによって注意が分散され、1回目と2回目の漢字情報の統合に支障をきたしていると考えられる。

本実験の結果には、枠図形が漢字の呈示位置以外の場所に呈示されるとサッカド前後の情報の統合が妨げられる現象が見られた。注視点の移動前後で獲得された情報の統合過程において、視覚的注意が重要な役割を担っているものと結論できる。サルの後部頭頂葉では、視野内で注意の対象が変化すると、その位置へのサッカドが開始される前の段階で、対象の位置をコーディングしている領域がシフトすることが示されており⁵⁾、また、前頭眼野ではサッカドの開始の直前にターゲット位置に受容野を持つ細胞群が活性化し、ターゲットの周辺に受容野を持つものは逆に抑制を受けることが示されている⁶⁾。サッカド前後で獲得された情報の統合過程には、このような対象の位置をコーディングする細胞群のシフトが何らかの役割を担っている可能性が考えられる。

本実験では、EC2.2とEC2.3で個人差が生じているが、サッカドの開始と注意の関係を調べた実験によると²⁰⁾、被験者への教示内容の相違が結果に影響することが示されており、被験者のタスク達成に向けた戦略が重要となる。被験者が枠図形をどれだけ意識していたか、すなわち枠図形の位置にどれだけ能動的に注意を配分していたかが個人差として現れたものと思われる。

5. む す び

注視点移動前後で獲得された情報がどのように統合されて認識に至るのかを解析することを目的として、注視点の移動前後で刺激の位置を変化させた際の認識率を求め、視覚系の情報獲得と認知のプロセスにおいて注視点位置がどのように関わっているかを考察した。

実験1の結果からは、サッカドの前後で対象の位置が不変であった場合の方が、位置の移動が生じた場合よりも高い認識率を示すことが明らかとなった。また、サッカド後の注視点位置と刺激の認識率について解析した結果、サッカドの前後で獲得した視覚情報量に本質的な差がない場合でも、対象の移動が生じた場合の方が、そうでない場合よりも、サッカド後の注視点対象の中心から離れるに従って認識率の低下の傾きが大きくなることも示された。これらのことから、注視点の移動によって更新された網膜像からの視覚情報の統合過程において、対象の位置情報が重要

な役割を果たしている可能性が示唆された。

実験2では、サッカード前後で対象の位置が変化するか否かによって認識率に変化が生じる原因を、被験者の視覚的注意の影響を受けた結果であると仮定し、注意を統制した実験を行った。この結果、注視点の移動前後で獲得された情報の統合過程において、視覚的注意が重要な役割を担っていることが示され、注視点の移動前に対象の位置を知ることが高次の処理において有利に働くことが示された。逆に、対象とは無関係な位置に視覚的注意を分散させることにより、サッカード前後の情報の統合が妨げられる場合があることも示された。

今後の課題として、被験者がとった戦略の違いのために生じたと考えられる個人差について、これを定量的に明らかにするためにさらに解析を加えていく予定である。

最後に、本論文をまとめる機会を与えて頂いたNHK放送技術研究所西澤次所長に感謝致します。

〔 参 考 文 献 〕

- 1) Zuber, B.L. and Stark, L.: "Saccadic Suppression: Elevation of Visual Threshold Associated with Saccadic Eye Movements", *Exp. Neurol.*, **16**, pp.65-79 (1966)
- 2) 小濱, 波多野, 吉田: "視覚系に取り入れられる情報と注視点の位置との関係の解析", *信学論 (D)*, **J79-D-II**, 1, pp.101-110 (1995)
- 3) Lee, C., Rohrer, W.H. and Sparks, D.L.: "Population Coding of Saccadic Eye Movements by Neurons in the Superior Colliculus", *Nature*, **332**, pp.357-360 (1988)
- 4) Glimcher, P.W. and Sparks, D.L.: "Movement Selection in Advance of Action in the Superior Colliculus", *Nature*, **355**, pp.542-545 (1992)
- 5) Duhamel, J.R., Colby, C.L. and Goldberg, M.E.: "The Updating of the Representation of Visual Space in Parietal Cortex by Intended Eye Movement", *Science*, **255**, pp.90-92 (1992)
- 6) Schall, J.D. and Hanes, D.P.: "Neural Basis of Saccade Target Selection in Frontal Eye Field During Visual Search", *Nature*, **366**, pp.467-469 (1993)
- 7) Chelazzi, L., Miller, E.K., Duncan, J. and Desimone, R.: "A Neural Basis for Visual Search in Inferior Temporal Cortex", *Nature*, **363**, pp.345-347 (1993)
- 8) Anderson, R.A., Essick, G.K. and Siegel, R.M.: "Encoding of Spatial Location by Posterior Parietal Neurons", *Science*, **230**, pp.456-458 (1985)
- 9) 石田, 池田: "跳躍眼球運動時の視野統合過程における位置情報の許容度", *光学*, **22**, pp.610-617 (1993)
- 10) 小濱, 波多野, 野村, 吉田: "短時間呈示された画像上の注視点の解析", *信学技報*, **MBE92-99**, pp.101-108 (1992)
- 11) 山田, 福田: "画像における注視点の定義と画像分析への応用", *信学論 (D)*, **J69-D**, 6, pp.1335-1341 (1986)
- 12) Remington, R.W.: "Attention and Saccadic Eye Movements", *J. Exp. Psychol.: Human Perception and Performance*, **6**, 4, pp.726-744 (1980)
- 13) Shepherd, M., Findlay, J.M. and Hockey, R.J.: "The Relationship Between Eye Movements and Spatial Attention", *Q. J. Exp. Psychol.*, **38A**, pp.475-491 (1986)
- 14) Hoffman, J.E. and Subramaniam, B.: "The Role of Vi-

sual Attention in Saccadic Eye Movements", *Perception & Psychophysics*, **57**, 6, pp.787-795 (1995)

- 15) Sheliga, B.M., Riggio, L. and Rizzolatti, G.: "Spatial Attention and Eye Movements", *Exp. Brain Res.*, **105**, pp.261-275 (1995)
- 16) Mackeben, M. and Nakayama, K.: "Express Attentional Shifts", *Vision Res.*, **33**, pp.85-90 (1993)
- 17) Tam, W.J. and Stelmach, L.B.: "Viewing Behavior: Ocular and Attentional Disengagement", *Perception & Psychophysics*, **54**, 2, pp.211-222 (1993)
- 18) Wurtz, R.H., Goldberg, M.E., Robinson, D.L.: "Behavioral Modulation of Visual Responses in the Monkey: Stimulus Selection for Attention and Movement", *Progress in Psychobiology and Physiological Psychology*, **9**, pp.43-83 (1980)
- 19) 熊田, 横澤: "特徴統合と視覚的注意", *心理学評論*, **37**, pp.19-43 (1994)
- 20) Kowler, E., Anderson, E., Doshier, B. and Bilaser, E.: "The Role of Attention in the Programming of Saccades", *Vision Res.*, **35**, 13, pp.1897-1916 (1995)

こはま たけし

小濱 剛 1992年、豊橋技術科学大学工学部知識情報工学系卒業。1994年、同大学大学院修士課程修了。現在、同大学博士後期課程在学中。視覚系の情報処理過程における眼球運動の機能に関する研究に従事。学生会員。

さいとう つよし

齊藤 剛 1994年、豊橋技術科学大学工学部知識情報工学系卒業。1996年、同大学大学院修士課程修了。現在、富士ゼロックス(株)技術開発センター第2技術部勤務。在学中、眼球運動が視覚情報の獲得に果たす役割についての研究に従事。

しんかい けん

新開 憲 1995年、豊橋技術科学大学工学部情報工学系卒業。現在、同大学大学院修士課程在学中。眼球運動が視覚情報の獲得に果たす役割についての研究に従事。

やまだ みつほ

山田光穂 1978年、名古屋大学工学部電子工学科卒業。1980年、同大学大学院前期課程修了。同年、NHK入局。1983年より、放送技術研究所に勤務。1989年より、(株)ATR視聴覚機構研究所に出向。1993年より、NHK放送技術研究所に復帰。現在、同研究所ヒューマンサイエンス研究部主任研究員。視覚系の情報処理および眼球運動の制御機構の研究に従事。工学博士。正会員。

うすい しろう

臼井 支朗 1974年、カリフォルニア大学大学院博士課程電気工学計算機科学科修了。Ph.D. 同年、名古屋大学工学部助手。1979年、豊橋技術科学大学講師、助教授を経て、1986年、教授。視覚、色覚、網膜・瞳孔など視覚系に関する生体・神経情報工学、生理工学などの研究に従事。正会員。

よしだ たつお

故 吉田辰夫 1967年、東京大学大学院工学研究科応用物理修了。同年、NHK入局。同放送技術研究所を経て、1989年より、豊橋技術科学大学工学部知識情報工学教授。1995年、逝去。視覚系の情報処理機構の解析とその結果に基づいた神経回路モデルの構成に関する研究に従事した。工学博士。