マイクロサッカードの解析に基づく視覚的注意の定量的測定の試み

Quantitatively Measuring Visual Attention by Analyzing Microsaccades

正会員 小 濱 剛[†], 新 開 憲^{††}, 正会員 白 井 支 朗^{†††}

Takeshi Kohama[†], Ken Shinkai^{††} and Shiro Usui^{†††}

Abstract To evaluate the effects of visual attention (VA) on human involuntary miniature eye movements (MEM), we analyzed the microsaccades (MSC), which are components of MEM, under the following three experimental conditions: 1) VA was focused on the foveal object, 2) VA was dispersed in the parafoveal visual field, and 3) VA was focused on one of the parafoveal objects. The results showed that the VA was not focused on the foveal object, the frequency and amplitude of the MSC increased, and the scatter of fixation widened. The results from 2) and 3) showed that the frequency of the MSC was greater in 2) and the mean amplitude of the MSC was similar for both conditions. When VA is not focused, the MSC occur more frequently, and when VA is focused on the foveal object, the amplitude of the MSC reduces. These results suggest that MEM are influenced by VA, and MSC may be used as an indicator of the attentional state. It will be possible to establish whether VA is focused or not on the basis of the analysis of MEM characteristics.

キーワード：眼球運動，固視微動，マイクロサッカード，視覚的注意，定量的測定

1. ま え が き

近年，自動車運転中の電話利用時に生じる交通事故の増加が社会問題化している．一般に，これらの事故の原因は運転者が会話に注意を奪われたためであると考えられているようであるが，注意力のような精神活動をいかに扱うべきかが問題となる．このことから，注意の集中度に関する定量的測定は重要な研究課題として位置づけられる．

一方，一点を凝視する際に生じる固視微動は，意識的に制御できないことから，ノイズ的に生じる眼球運動と考えられてきた．しかしながら，テクスチャ観察時の眼球運動

を解析した報告¹⁾によると，視覚刺激の構造や空間周波数特性が固視微動に影響を及ぼすことが示唆されており，固視微動上に高次脳機能が反映されている可能性は否定できない．

注視機構に関する生理学的知見によると，注視時には，眼球運動駆動系の中核である上丘²⁾において，吻側部細胞の活動により，その周辺の眼球運動誘起性の細胞を抑制しているものと考えられている³⁾⁴⁾．これらの上丘細胞は，視覚的注意のコントロールに関係する頭頂連合野から興奮性の入力を受けていることが知られており⁵⁾⁶⁾，注視時に視覚的注意をコントロールすることにより，上丘細胞の活動の統制に乱れが生じ，これが固視微動の変動として現れることが予想される．したがって，固視微動の観測により，注視機構への視覚的注意の関与を推測できるものと思われる．

特に，固視微動の一成分であるマイクロサッカードは，随意性の眼球運動であるサッカードと同じ制御系を有することが示されており⁷⁾，サッカードが視覚的注意と密接に関係していることを考慮すると^{8)~11)}，マイクロサッカードに視覚的注意の影響が現れる可能性が高い．したがって，マイクロサッカードの解析に基づいた視覚的注意の定量的観測手法の確立が期待される．

そこで本研究では，固視微動を完全なノイズ様の眼球運動とは見なさず，間接的に高次脳機能の制御下にあるものと仮定し，注視を維持した状態で視覚的注意をコントロー

1997年6月19日，映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会で発表．

1997年10月1日受付，1998年1月12日再受付，1998年2月9日採録
†愛知県立大学 情報科学部

(〒480-1198 愛知県愛知郡長久手町大字熊張字茨ヶ畑 1522-3, TEL 0561-64-1111)

††NHK 山口放送局

(〒753-8660 山口県山口市中央 5-14-22, TEL 0839-21-3726)

†††豊橋技術科学大学 情報工学系

(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町字雲雀ヶ丘 1-1, TEL 0532-46-7806)

† Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

(1522-3, Aza-Ibaragabasama, Oaza-Kumabari, Nagakute-cho, Aichigun, Aichi 480-1101, Japan)

††NHK Yamaguchi

(5-14-22, Chuoh, Yamaguchi-shi, Yamaguchi 753-8660, Japan)

††† Department of Information & Computer Sciences, Toyohashi University of Technology

(1-1, Hibarigaoka, Tenpaku-cho, Toyohashi-shi, Aichi 441-8580, Japan)

ルする実験課題に対して、マイクロサッカードの発生頻度や振幅について解析した。その結果から、視覚的注意のような測定の困難な複雑な脳内活動が、不随意性の眼球運動に及ぼす影響について考察し、固視微動の解析に基づく視覚的注意の定量化の可能性について論じる。

2. 実験方法

注視時に生じる固視微動上に、視覚的注意がどのような影響を及ぼしているのかを考察するためには、注視を維持した状態で視覚的注意をコントロールする必要がある。

本研究では、注視時の視覚的注意の状態を次の3つに分類し、それぞれの状態を作り出すような実験課題を提案する。各条件間でマイクロサッカードについて解析を行い、これらの比較検討を行う。

- (1) 視覚的注意が注視点近傍に集中している状態
- (2) 視覚的注意が周辺視野に分散されている状態
- (3) 視覚的注意が周辺視野の1部分に集中している状態

2.1 実験課題 FT (Foveal Task) : 視覚的注意が注視点近傍に集中している状態

各実験課題では、刺激呈示用ディスプレイの中央とその上下左右に3 deg 離れた位置に4つ、合計5つの円形視標(直径0.2 deg)を呈示し、次に記すFT, PT, CPTの3つの条件のうちのいずれかの条件において、中央の視標への注視を維持した状態で、5つの視標の内のいずれか1つに生じる色変化(緑→黄緑)の有無を検出する。被験者には、実験の各セッションの開始前にどの条件で実験を行うかをあらかじめ教示した。

実験課題 FT では、図1(a)中の中央の視標に生じる色変化を検出する。試行中は中央の視標を注視し続けなければならない。

各試行は被験者がマウスをクリックすることにより開始

される。試行開始1秒後から5秒後までの適当な時間に、中央の視標に50%の確率で色変化が生じる。各試行の終了後、ただちに回答セッションが開始され、中央視標に色変化が生じたか否かの回答が行われる。

視標の色の変化量は、事前の予備実験結果から、変化の検出率が80%前後の値となるよう被験者ごとに調整した。したがって、課題遂行のためには、被験者は試行中つねに中央の視標に注意を集中しなければならない。

眼球運動の測定は、強膜反射方式の測定装置(竹井機器、モデル928)により、マウスクリックから5秒間、サンプリング周波数500 Hzで計測される。各被験者に対し、水平・垂直方向について各々 ± 5 degの範囲で較正を行い、12ビットで量子化した。なお、1被験者に対して較正を行った後、紙で作成した義眼を用いてノイズの標準偏差を測定した結果、42回の測定の平均は0.057 degであった。

被験者は、日常生活において眼鏡を必要とせず、色覚異常のない22~24歳の男性4人(NY, KO, TU, NA)であり、これまでに同様の実験への参加経験を有しないナイスな被験者である。

2.2 実験課題 PT (Parafoveal Task) : 視覚的注意が周辺視野に分散されている状態

実験課題 PT では、周辺4視標のうちのいずれか1つに生じる色変化の検出が課題として教示される。実験開始1秒後から5秒後までの間の適当な時間において、周辺4視標からランダムに選択された1視標の色が50%の確率で変化する(図2)。被験者には、どの視標に変化が生じるのかは知らされない。視標の色の変化量は、予備実験結果から各被験者ごとに80%程度の検出率となるよう調整した。このとき、FTと同様に、被験者は中央の視標を注視し続けることが教示される。すなわち、注視を維持した状態で周辺視野に呈示される4つの視標のうちのいずれかに生じる色変化を検出しなければならない。したがって、注視点は中央の視標上にあるものの、注意はその周辺に広く分散

図1 実験課題 FT のタイムスケジュール
Schedule of Foveal Task (FT). Each trial began with a subject's trigger. After a 1~5 second delay, the color of the central stimulus was changed at a rate of 50 percent. The subject was instructed to maintain fixation on the central stimulus during a trial.

図2 実験課題 PT のタイムスケジュール
Schedule of Parafoveal Task (PT). The procedure was the same as in "Fixation task", with an exception that the color of one of the peripheral stimuli, which was selected at random, was changed.

図3 実験課題 CPT のタイムスケジュール

Schedule of Cued Parafoveal Task (CPT). The procedure was different from "Parafoveal task" in following point. Just after the subject's trigger, an arrow was exposed for 1 second, then the color of peripheral stimuli indicated by an arrow was changed.

された状態にあると考えられる。その他の実験条件や被験者については FT と同様である。

2.3 実験課題 CPT (Cued Parafoveal Task) : 視覚的注意が周辺視野の 1 部分に集中している状態

実験課題 CPT では、実験開始直後の 1 秒間、矢印を呈示することによって、あらかじめ色変化が生じる視標を被験者に知らせておく。矢印の長さは約 0.3 deg であり、中央視標から 1.5 deg 離れた位置に呈示される。その他の実験条件、被験者、視標の色の变化量の決定は、PT と共通である (図 3)。したがって、被験者は、中央の視標上に注視を維持したまま周辺視野のある一点に注意を集中することになる。

なお、眼筋の疲労による影響を排除するために、本実験では 1 人の被験者に対して 1 日 42 試行に限定した。また、実験課題に習熟するために各実験条件ごとに予め 100 試行程度の練習を行った。

3. 注視および有効試行の定義

本研究で使用した眼球運動検出装置の測定原理である強膜反射方式は、一般に垂直方向の検出精度に問題があることが知られている¹²⁾。そのため、本研究では水平方向の眼球運動のみを解析対象とした。

測定された眼球運動データの解析に際して、1 試行中の注視位置の変動が 1.5 deg の範囲内にある場合を注視と定義し、これを越える場合には試行中に中央視標の注視を維持出来なかったものとして解析対象から除外した。山田ら¹³⁾は、一般画像を観察する際の眼球運動について、2 deg 程度の範囲内における滑らかな動きを注視と定義したが、本実験では注視用視標が呈示されていることから、これよりも小さな範囲で注視を定義した。なお、有効試行数には被験者および実験条件ごとに大きな偏りはなかった。

図4 マイクロサッカードが検出された測定データの一例
An example of microsaccades in horizontal eye movement. The quick shifts indicated by arrows show the microsaccades.

4. 眼球運動データの平滑化

固視微動のような微小な振幅の眼球運動を測定する場合、測定系ノイズの影響を無視できない。そこで、本研究ではウェーブレット変換を応用した平滑化手法によりノイズ除去を行った¹⁵⁾。この手法は、マイクロサッカードのような微小なステップ状波形に対して、その位相を保持したまま測定系ノイズを有効に低減できることが示されている。ウェーブレット変換にあたっては、マザーウェーブレットにオーダ 10 の Daubechies ウェーブレット¹⁶⁾を用い、変換後に高周波数に相当する上位 2 レベルを除いた逆変換により平滑化波形を求めた。

5. マイクロサッカードの検出方法

図 4 に、実験条件 PT における水平方向の眼球運動波形の 1 例を示す。眼球位置は刺激呈示用ディスプレイの画面中央を 0 deg として表示してある。検出されたマイクロサッカードを矢印によって示す。

3章に記した注視の条件を満たすデータから、眼球運動の速度が 3.3 deg/sec の速度閾値を越えるものをマイクロサッカードとして抽出した。図 5 (a) は 250 ms 間の眼球運動波形例を、(b) は simple difference 型の低域微分フィルタ¹⁴⁾を用いて求められた速度波形を示している。速度閾値を越えた点から 10 ms 前をマイクロサッカードの開始点とし、再び速度閾値を下回った点から 10 ms 後をマイクロサッカードの終了点として、この間の眼球の変位をマイクロサッカードの振幅として定義した。これらの値は、被験者 2 人から得られた約 100 試行分の測定データから、パルス状波形のみを検出できる最適値として設定した。なお、変位量が 0.06 deg 未満の場合は微小なノイズとして解析から除いた。

6. 実験結果の解析

6.1 注視位置のばらつき

まず、視覚的注意のコントロールにより、正確な注視の維持にどのような影響が生じるかを考察するために、注

図5 マイクロサッカードの検出方法と各パラメータの定義
Detection method of a microsaccade and definition of parameters for data analysis. (a) An example of eye movement for 250 ms. (b) The velocity of exemplified eye movement. Microsaccades were detected when the velocity of eye movement exceeded the threshold (3.3 deg/sec). The amplitude of a microsaccade was defined as the difference between the presaccadic and postsaccadic eye positions.

視位置のばらつきについて各実験課題間での比較検討を行った。

図6に注視位置の変位の平均値とその標準偏差を示す。図中、例えば注視位置の平均値が負の値を示すものについては、その被験者が全試行を通じて注視用視標（中央の視標）の左側を注視する傾向にあったことを示している。

すべての被験者に共通して、PT、CPTのそれぞれの分散がFTの分散よりも有意に大きいことが示された ($P < 0.01$)。このことから、周辺視野に注意を分散し

図6 各実験条件における平均注視位置とその標準偏差の比較
Mean value and standard deviation of the fluctuation of horizontal eye movements in each experimental condition.

た場合 (PT) や、周辺のある一点に注意を集中した場合 (CPT) には、注視位置に注意を集中した場合 (FT) に比較して注視のばらつきが大きくなることが示唆される。すなわち、より正確に注視を維持するためには、注視点近傍に注意を集中する必要があるものと考えられる。

一方、PT と CPT を比較した結果では、全被験者に共通するような傾向は認められず、明確に区別できなかった。

注視時にはマイクロサッカードやドリフトなどのいわゆる固視微動により、注視位置が 0.05~0.5 deg 程度変動することが知られている¹⁷⁾。PT や CPT で注視位置のばらつきが大きくなった原因は、視覚的注意のコントロールにより固視微動上になんらかの変化が生じている可能性が高い。そこで、固視微動のうちマイクロサッカードに注目し、マイクロサッカードの発生頻度と振幅の2点について視覚的注意との関係について解析を行った。

6.2 マイクロサッカードの発生頻度

図7に、1試行あたりのマイクロサッカードの平均検出数とその標準偏差を示す。

全ての被験者に共通して、PT での平均検出数が FT の場合よりも有意に大きい (NY, KO, TU : $P < 0.01$, NA : $P < 0.05$)。一方、FT と CPT を比較すると、NAを除く3人の被験者に共通して CPT の平均検出数の方が大きいことから (NY, KO : $P < 0.01$)、PT ほど顕著ではないものの、マイクロサッカードの発生頻度が増加する傾向にあるといえる。

また、KOを除く3人の被験者では、CPT の平均検出数の方が PT の場合よりも小さくなっている (NY : $P < 0.01$)。このことから、視覚的注意が周辺視野の1部分に集中された場合には、周辺視野に分散された場合と比較してマイクロサッカードの発生頻度が低下する傾向にあると考えられる。

以上の結果から、各実験条件間でのマイクロサッカードの発生頻度は、概ね次のような関係にあることが示唆される。

図7 1試行あたりのマイクロサッカード平均検出数の比較
Mean number and standard deviation of microsaccades per trial for each experimental condition.

図 8 マイクロサッカード平均振幅の比較
Mean amplitude and standard deviation of microsaccades for each experimental condition.

$$FT < CPT < PT$$

すなわち、マイクロサッカードは、視覚的注意が固定されない場合に最も発生頻度が高くなり、逆に注視点近傍に集中された場合にその発生が抑えられると考えられる。マイクロサッカードの発生頻度の増減には、視野内に注意が集中されているか否かが関わっているものと推測される。したがって、マイクロサッカードの発生頻度の比較により、視覚的注意の集中度合をある程度評価できるものと思われる。

6.3 マイクロサッカードの振幅

図 8 に、検出されたマイクロサッカードの振幅平均値と標準偏差を示す。

全被験者に共通して、FT よりも PT の方が平均振幅が大きく (NY, KO, TU : $P < 0.01$)、同様に、FT と CPT との比較においても、CPT の方が平均振幅が大きくなっている (NY, TU : $P < 0.01$)。したがって、注視点周辺への視覚的注意の分散により、マイクロサッカードの振幅が大きくなる傾向にあるといえる。

一方、CPT と PT の間には、全被験者に共通するようない貫した傾向は認められない。

このことから、マイクロサッカードの振幅を比較することにより、視覚的注意が周辺視野に分散されているか、周辺視野の 1 部分に集中されていたかの違いを判断することは困難であるものの、視覚的注意が注視点近傍に集中されているか否かを評価することは可能であると思われる。

7. 考 察

本実験で設けた 3 つの実験条件間での比較検討の結果、視覚的注意が注視点近傍に集中された場合は、注意が周辺視野に分散された場合や、周辺視野のある 1 点に集中された場合に比較して、注視位置のばらつきが小さくなることが示された。また、マイクロサッカードの発生頻度について比較した結果、マイクロサッカードの発生頻度は、視覚的注意が注視点近傍に集中された場合にもっとも小さく、

ついで視覚的注意が周辺視野のある一点に集中された場合、視覚的注意が周辺視野に分散された場合の順で大きくなることを示された。さらに、マイクロサッカードの振幅について解析した結果からは、マイクロサッカードの振幅は、視覚的注意が注視点近傍に集中された場合にもっとも小さくなることを示された。

これらの結果から、より正確な注視を維持するためには、注視点近傍に注意を集中する必要があるものと推察され、マイクロサッカードの発生頻度や振幅を基準として、視覚的注意が注視点近傍に集中されているか否かの判断が可能であることが示唆される。

追従運動と視覚的注意との関係を調べた報告によると¹⁸⁾、注視を持続する際には、その背後で生じる事象に注意を向けることが困難となり、逆に、背後の事象に注意を向けると注視の維持が困難となることが示されている。この結果から、注視を維持するためには、注視する対象に視覚的注意を集中させる必要があると述べられており、本研究の結果はこの見解を支持するものである。

実験条件間でマイクロサッカードに変化が生じた原因として、網膜上の錐体細胞の分布特性から、周辺視野では錐体細胞密度が小さくなるため¹⁹⁾、これによる感度の低下を補うためにマイクロサッカードが発生していた可能性が考えられる。本研究で使用した視覚刺激はすべての条件で 5 つの視標が同じ位置に呈示されていたため、もしこの仮定が正しければ、高次視覚系では対象となる刺激の位置を判断した上で錐体細胞密度に応じてマイクロサッカードを発生させていたことになる。しかしながら、マイクロサッカードの発生後、極めて短い間隔で次のサッカードが生じることから、マイクロサッカードは中枢から独立した眼球運動であることが示されており²⁰⁾、上の解釈に矛盾する。

生理学的知見によると、上丘には、それぞれが特定のサッカードの方向と大きさをコーディングしている細胞と²¹⁾ (ここでは、これをサッカード細胞と呼ぶ)、固視時にのみサッカード細胞を抑制する吻側部の固視細胞 (fixation cell) が存在しており³⁾⁴⁾。両者が互いに抑制的に結合していることが示唆されている³⁾。一方、サッカード発生時には、その直前に視覚的注意の移動が生じることから^{8)~11)}、視覚的注意の移動がサッカードのプログラミングプロセスに相当すると考えられる。さらに、上丘サッカード細胞に電気刺激を与えることにより生じるサッカードは、視覚的注意によってその方向に変化が生じることや²²⁾、視覚的注意の空間的配置をコントロールしていると考えられている頭頂連合野²³⁾が上丘と強く結合していること⁶⁾などを考慮すると、上丘でコーディングされるサッカード命令に視覚的注意が関与している可能性が高い。

マイクロサッカードは、随意性のサッカード眼球運動と同一の制御系により駆動されていることから⁷⁾、マイクロサッカードの生成にも上丘が関係しており、視覚的注意の影響下にあることが予想される。このことから、注視時に

視覚的注意を分散させることにより、(1) 頭頂連合野から固視細胞への抑制性の入力があり、固視細胞によるサッカード細胞の抑制が弱まった、(2) 頭頂連合野からサッカード細胞に興奮性の入力があり、サッカード細胞により固視細胞が抑制を受けた、などの原因によって、固視細胞とサッカード細胞の活動が均衡状態となり、注視の統制に乱れが生じたものと推察される。

8. む す び

本研究では、不随意的な眼球運動である固視微動の解析に基づいて、視覚的注意の定量的観測が可能であるか否かを確かめることを目的として、注視を維持した状態で視覚的注意のコントロールを行う実験を考案し、このときの眼球運動の解析を行った。

その結果、随意性のサッカード眼球運動と同じ制御系を有するマイクロサッカード上に視覚的注意の影響が見られることが示唆され、マイクロサッカードの特性を指標とした視覚的注意の定量的測定の可能性が示された。

本研究により得られた知見は、固視微動を視覚的注意の客観的評価量として位置付けるだけでなく、固視微動の生起メカニズムの解明にあたっても多くの示唆を与えるものであるといえる。

今後の課題として、固視微動の周波数成分の解析を行い、視覚的注意がドリフトのような低周波成分に与える影響について考察するとともに、視覚的注意のコントロールに問題があることが知られている、痴呆症や精神分裂症などの高次脳機能障害^{24)~26)}に対する眼球運動を利用した診断システムへの応用の可能性についても検討する予定である。

本論文をまとめるにあたり、細部にわたり活発な御討論を頂いた、NHK 大阪放送局技術部 山田光穂チーフエンジニア、豊橋技術科学大学情報工学系 戸田尚宏助教授、同大計算機センター 神山齊己助手、同大情報工学系 中内茂樹助手に感謝致します。

〔文 献〕

- 1) 境野英朋, 鉄谷信二, 岸野文朗: “最大エントロピー法と高次モーメント特徴量に基づく眼球運動パターンの時系列解析”, 信学論 (A), **J76-A**, 8, pp. 1027-1041 (1993)
- 2) Hikosaka, O. and Wurtz, R. H.: “Modification of saccadic eye movements by GABA-related substances. I. Effect of muscimol and bicuculline in monkey superior colliculus”, *J. Neurophysiol.*, **53**, 1, pp. 266-291 (1985)
- 3) Munoz, D. P. and Wurtz, R. H.: “Fixation cells in monkey superior colliculus I. Characteristics of cell discharge”, *J. Neurophysiol.*, **70**, 2, pp. 559-575 (1993)
- 4) Munoz, D. P. and Wurtz, R. H.: “Fixation cells in monkey superior colliculus II. Reversible activation and deactivation”, *J. Neurophysiol.*, **70**, 2, pp. 576-589 (1993)
- 5) Lynch, J. C., Graybiel, A. M. and Lobeck, L. J.: “The differential projection of two cytoarchitectonic subregions of the inferior parietal lobule of macaque upon the deep layers of the superior colliculus”, *J. Comp. Neurol.*, **235**, pp. 241-254 (1985)
- 6) Andersen, R. A. and Mount, J. W.: “Posterior parietal cortex”, *The neurobiology of saccadic eye movements* (Eds. Wurtz & Goldberg), Elsevier, pp. 315-335 (1989)
- 7) Carpenter, R. H. S.: “Movements of the Eyes (2nd Edition Re-

- vised and Enlarged)”, London: Pion., pp.124-138 (1988)
- 8) Remington, R. W.: “Attention and saccadic eye movements”, *J. Exp. Psychol.: Human Perception and Performance*, **6**, 4, pp.726-744 (1980)
- 9) 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)
- 10) Hoffman, J. E. and Subramaniam, B.: “The role of visual attention in saccadic eye movements”, *Perception & Psychophysics*, **57**, 6, pp.787-795 (1995)
- 11) Deubel, H. and Schneider, W. X.: “Saccade target selection and object recognition: Evidence for a common attentional mechanism”, *Vision Res.*, **36**, 12, pp. 1827-1837 (1996)
- 12) 山田光穂: “最近の眼球運動の研究動向”, 信学技報, MBE95-132, pp. 145-152 (1995)
- 13) 山田光穂, 福田忠彦: “画像における注視点の定義と画像分析への応用”, 信学論, **J69-D**, 9, pp. 1335-1341 (1986)
- 14) Usui, S., Amidor, I.: “Digital low-pass differentiation for biological signal processing”, *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, **BME-29**, 10, pp.686-693 (1982)
- 15) 吉松 浩: “ウェーブレットを用いた注視時眼球運動の平滑化”, テレビ誌, **50**, 12, pp. 1903-1912 (1996)
- 16) 榊原 進: 数理学 ウェーブレットビギナーズガイド, 東京電機大学出版局 (1995)
- 17) Yarbus, A. L.: “Eye Movement and Vision”, Plenum Press. pp. 103-127 (1967)
- 18) Khurana, B. and Kowler, E.: “Shared attention control of smooth eye movement and perception”, *Vision Res.*, **27**, 9, pp. 1603-1618 (1987)
- 19) Sharp, P. F. and Philips, R.: “Physiological Optics”, *The Perception of Visual Information* (Eds. Hendee, W. R., Wells, P. N. T.), Springer-Verlag, pp. 1-29 (1993)
- 20) Kingstone, A. and Reuter-lorentz, P. A.: “Are microsaccades responsible for the gap effect?”, *Perception & Psychophysics*, **57**, 6, pp. 796-801 (1995)
- 21) Robinson, D. A.: “Eye movements evoked by collicular stimulation in the alert monkey”, *Vision Res.*, **12**, pp. 1795-1808 (1972)
- 22) Kustov, A. A. and Robinson, D. L.: “Shared neural control of attentional shifts and eye movements”, *Nature*, **384**, 7, pp. 74-77 (1996)
- 23) Posner, M. I. and Petersen, S. E.: “The attention system of the human brain”, *Ann. Rev. Neurosci.*, **13**, pp. 25-42 (1990)
- 24) 藤井 充, 深津 亮, 小林幹穂, 高畑直彦, 山田光穂, 福田忠彦, 村上新治: “Alzheimer 病の神経心理学的研究 -vision analyzer による視覚認識過程の検討”, 精神神経誌, **91**, 10, pp. 760-769 (1989)
- 25) 魚森謙也: “アルツハイマー病患者の眼球運動と加齢効果”, 視覚の科学, **14**, 4, pp. 166-170 (1993)
- 26) 松江克彦, 千葉英明: “エキスプレスサッカードに現れる注意の異常 - 精神分裂病の追従眼球運動障害に関連して -”, 神経進歩, **40**, 3, pp. 485-495 (1996)

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。1997 年, 同大学院博士後期課程システム情報工学専攻修了。現在, 愛知県立大学助手。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。工学博士。正会員。

新井 憲 1995 年, 豊橋技術科学大学工学部情報工学系卒業。1997 年, 同大学院修士課程修了。現在, NHK 山口放送局勤務。在学中, 固視微動上に現われる高次脳機能の研究に従事。

臼井 支朗 1974 年, カリフォルニア大大学院博士課程・電気工学計算機科学専攻修了。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。生体情報工学, 生理工学などの研究に従事。編著「脳・神経システムの数理モデル - 視覚系を中心に」, ほか。Ph.D. 正会員。