

## 停留点の時間的な発生頻度に着目した注目点検出法の検討

西田 謙太郎\*1, 吉高 淳夫\*1, 平嶋 宗\*1

\*1 広島大学大学院工学研究科

**概要** 人の視線には、興味や関心などの心的な状態が現れることが知られており、視線情報よりユーザの興味や関心などの心的な状態が反映された対象や領域などの「興味対象の検出」が研究されている。しかし、ユーザの興味対象の検出において、視線情報から強い興味や関心などのユーザの心的な状態が反映される特徴を捉える時の視点を検出することは未解決であり、「興味対象の検出」は重要な課題となっている。

本研究では、ユーザの興味が眼球運動に反映されると考えられる美術作品鑑賞時の視線情報の特徴を、一定の停留時間条件を満たす停留点の時間的な発生頻度の変化として捉え、ユーザが強い興味を持ち見ていた視点(注目点)の検出を行い興味対象の検出を行うことを提案する。

### Analysis of Attention Eye Point Detecting Method based on Temporal Frequency of Occurrence View Point

Kentaro Nishida\*1 Atsuo Yoshitaka\*1 Tsukasa Hirashima\*1

\*1 Graduate School of Engineering, Hiroshima University

**Abstract** It is known that person's viewpoint corresponds to mental state of the interest, and it is studied to detect of the interested object, aimed at extracting the object and the region where mental states of user's interest was reflected based on eye movement.

In this research, we propose to detect the specific feature of eye movement in the appreciation of art work in which user's interest is reflected based on the condition of a temporal frequency of specific duration of fixations that meets the constant staying time of eye movement, for the user to have interest, to detect the eye point (view point in attention), and to detect the interest object.

#### 1. はじめに

人の視線には、その人自身の興味や関心などの心的な状態が現れることが知られている。よって、視線情報からこれらの心的な状態が反映された対象や領域を抽出することが可能になると、ユーザの作業支援や操作性、認知性、快適性などのユーザの使い勝手を考慮したシステムの構築など、人とコンピュータとの円滑で、かつ、適切なコミュニケーションを図ることが容易になることが期待できる。このため、視線情報からユーザの興味や関心などの心的な状態が反映された対象や領域(以下、興味や関心などが反映された箇所とする)を検出する研究が行われている。これら興味や関心などが反映された箇所を検出するため用いられる指標を以下に挙げる。

- 視点の検出
- 瞬目の頻度, 間隔
- 瞳孔径
- サッケードの距離, 頻度

視線とは、眼があるもの(点)を見ている際の眼球と視対象物間を結ぶ線を指す。また、視点とは、眼が見ている対象(点)である、視線の先の点のこと

を指す。サッケード(跳躍運動)とは、人が見る対象を替える際に発生する眼球運動である(図1)。上記の指標を用い、興味や関心などのユーザの心的な状態が反映された箇所の検出を試みている研究について述べる。

人は興味のあるところを注視し、関心度の高いところに視線が向く[1]ことが明らかにされている。視点の検出を行っている研究[2-6]では、見ていた箇所である視点を検出し、この視点の分布より、興味や関心などが反映された箇所を検出している。瞳孔径を計測している研究では、瞳孔面積の変化と視点情報より、課題の難易度という心的な負荷の影響を受けている箇所を検出している[7]。瞬目の頻度、間隔に着目した研究では、一定時間における瞬目の回数や瞬目の時間間隔と視点情報より、ユーザの強い関心や興味などが反映された箇所の検出を行っている[8]。また、眼球運動であるサッケードの距離、頻度に着目した研究は、人が対象に注意を向けようとする際、サッケードの速度や振幅に強い関わり合いがあることを示している[9]。この研究では、サッケードの特徴より、強い興味や関心などの心的な状態が反映された視点を検出可能であることを示唆している。

しかし、以上の手法は、輝度の変化に弱いこと[7]や音などの他の刺激の影響を受けやすいこと[8-9]など他の要因の影響を受けやすい指標であるという問題がある。また、上記で挙げた研究では、ユーザの興味や関心などが反映された箇所の推定は行っているが、ユーザの強い興味や関心などが反映された箇所の検出は行っていない。

本研究では、視点の検出と共に眼球運動の特性から、ユーザの強い興味や関心などが反映された箇所の検出を行うことを目的とする。

視点の検出より、ユーザの興味や関心などが反映された箇所の検出を行う研究では、眼球運動を解析し、注視点、あるいは停留点を検出する手法が利用されている。注視点とは、サックード中の視線も含めた、ユーザが対象を見ている際の視線を連続的に追跡した位置のことである。眼球運動の特性より、視線が停留している間は、視覚情報を取得しており、サックードの間は、ほとんど視覚情報を得ることができない状態であることが明らかにされている[1]。停留点を検出する手法では、サックード中の視線を除いて、視覚情報を取得するために視線が停留している状態を検出し、その状態における視点を算出している。

人の視線は、注意や興味を向けようとする対象の細部を観察することから、視線データから停留点や注視点を検出し、興味や関心などが反映された対象の検出を行う研究により、停留点の分布や視線が停留する時間に特徴が見られることが明らかにされている。これより、停留点の分布や視線が停留する時間などから、ユーザの強い興味や関心などが反映された箇所を検出することが可能である。

しかし、視線が停留する時間長よりユーザの強い興味や関心などが反映された箇所の検出を行う手法では、明確な目的を持たずに一箇所をただ漠然と見る、ユーザの弱い興味や関心に基づき見ていた箇所も検出してしまう問題がある[2]。また、停留点の分布に着目した手法では、停留点の空間的な集合度に着目し、停留点間の距離情報を利用しているため、見る対象(領域)の大きさの影響を受けることや、同じ対象を見ている場合でも、“ユーザの強い興味や関心などが対象に向き、対象の細部を見ている場合”と“ユーザが対象全体を見渡している場合”との区別ができないなどの問題が挙げられる[9]。また、これらの研究は、視線情報において、ユーザが対象に強い興味を持ち見ている状態の視線であるか否かの判定や考察が不十分であることが挙げられる。

視点の検出より強い興味や関心などが反映された箇所を検出する研究では、このような問題があるため、視線が停留する時間や停留点、注視点の分布などの特徴より、強い興味や関心などが反映された箇所を検出することが、課題の1つとして

挙げられる。

本研究では、停留点の検出と共に、眼球運動の特性から、ユーザの強い興味や関心などが反映された視点の検出を試みる。そして、提案手法が、関連研究で利用されている注視点、停留点の検出法と比べ、より有効な手法であるかの検証を行っている。

本稿では、2章で視点の検出方法と提案手法の視点検出法の概略について説明し、3章では提案手法で検出する眼球運動の特徴について述べる。4章では提案手法と、一般的な視点検出方法を比較し、提案手法の有効性の検証について述べる。また、5章では、提案手法で検出される視点と関連研究で利用されている視点との比較、ならびに提案手法が興味対象の検出に関して、有効な手法であるかの評価について述べ、6章でまとめと今後の課題を述べる。

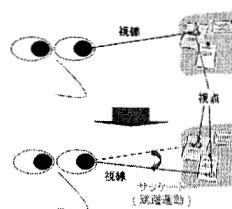


図1 視線, 視点, サックード

## 2. 視点の検出

ユーザの視線の位置である視点を検出する方法は、注視点の検出と停留点の検出の2つの方法がある。しかし、これらの視点を検出する方法では、ユーザの強い興味や関心などが反映された箇所の検出において、見る対象の大きさや見方の影響などの課題が挙げられる。そこで、本研究では、停留点の発生頻度に着目した注目点の検出方法を提案する。

### 2.1 注視点

注視点とは、単にユーザの見ていた位置を示している。つまり、視線計測システムによって連続的に獲得される、一定のサンプリングレートで検出される視点のことである。しかし、この手法では、サックード中の視線もユーザが見た位置である視点と判定されてしまうという問題がある。

### 2.2 停留点

人が視覚情報を獲得しているとされる視線が停留している状態と視線を切り替える際に発生するサックードを区別し、視線が停留している状態における視点を停留点としている。この手法では、視線計測システムによって獲得される、一定のサンプリングレートで連続して獲得される注視点が多数連続して近傍に位置している状態の視点を検出している(図2)。よって、停留点の検出では、視

角と視線が停留する時間条件を決定する必要がある。視角は、視線が停留している状態を検出するにあたり、視線の移動距離や視線移動速度が一定の値(閾値)以下となる条件である。また、視線の停留を判定する時間は、連続的に獲得される視線の位置が、視角の条件を連続的に満たす時間長の条件である。しかし、この視角や停留時間の条件は、各々の研究[4-6]によって様々であり、一般的な条件は確立されていないのが現状である。

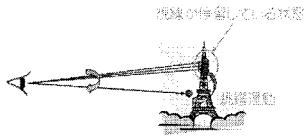
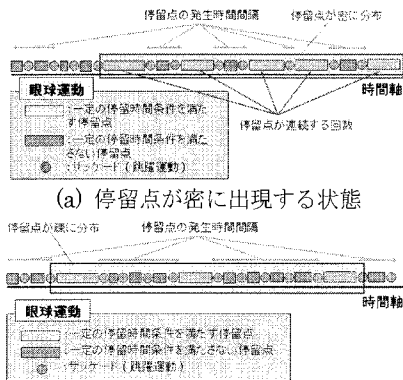


図2 視線の停留

### 2.3 提案手法における注目点

提案手法による注目点は、特定の部分に強い興味や関心などを集中していた状態の視点を示している。提案手法における注目点の検出では、一定の停留時間条件を満たす停留点を検出し、この停留点が時間的に密に出現する状態と疎に出現する状態とを区別することで、“強い興味や関心などにより、特定の部分を詳細に見ていた状態”における視点である注目点を検出する。停留点が時間的に密に出現するとは、一定の停留時間条件を満たす停留点が一定時間内に連続して頻度高く出現する状態である(図3 a)。また、停留点が時間的に疎に出現するとは、一定の停留時間条件を満たす停留点が一定時間内に出現しない状態や停留時間の長い停留点が一定時間内に連続して出現する頻度が低い状態である(図3 b)。提案手法では、停留点の時間的な発生頻度に着目しているため、視点検出において、停留時間、停留点の発生時間間隔、停留点が連続する回数などの各条件を決定する必要がある。そこで、まず、ユーザが特定の部分に興味や関心を集中する状態における眼球運動の特徴を調べ、これらの条件を決定する。



(a) 停留点が密に出現する状態  
(b) 停留点が疎に出現する状態  
図3 停留点の時間的な発生頻度

### 3.1 実験システム

視線計測では、被験者の眼球運動を、赤外 LED を用いた光学的な手法により測定している。視線計測システムは、Windows2000 上で動作し、Visual C++を用いて作成した。処理する画像は 320 × 240[pixel]、256 階調グレースケールである。視点検出のカメラのサンプリングレートは、30[Hz] である。また、1 フレーム当たりの視線移動が 1.2[deg](約 36[deg/s])を閾値として、これを上回る視線移動が検出された時、サッケードが発生したと判定している。

### 3.2 実験環境

美術作品の鑑賞活動では、特定の部分に興味、関心を集中する特定の探索とそれ以外の見方である拡散的探索が現れることが分かっている[10]。本研究では、この特定の探索を検出することより、強い興味や関心などのユーザの心的な状態が反映された箇所を検出が可能になると考えられる。本稿では、美術作品の一例である絵画の鑑賞における眼球運動を対象とし、特定の探索における視点の検出について述べる。

### 3.3 提案手法における眼球運動の分析

本研究では、絵画を自由に観察しているとき、視線の停留と跳躍運動を繰り返すことが述べられている[11]。また、停留点分布の粗密などの停留点の発生頻度の指標よりユーザの興味対象の検出が行えることが示唆されている[3]ことに着目する。上記の指標を検討するため、停留点の時間的な発生頻度に着目し、強い興味や関心などのユーザの心的な状態が反映される特定の探索[10]における視点を検出する。

#### 3.3.1 特定の探索の眼球運動の特徴を検出する実験

美術作品の鑑賞活動では、特定の部分に興味、関心を集中して見る特定の探索とそれ以外の美術作品の内容に関係なく、興味や関心などがある部分を探すような絵画全体を見る拡散的探索が現れることが分かっている[10]。

実験では、ユーザの興味や関心などが強く現れている特定の探索における眼球運動や視線の特徴を調べる。

#### 3.3.2 実験方法

実験の概略を図4に示す。被験者には、1 試行につき、絵画 1 枚を提示した。提示した絵画は、風景画、人物画、風俗画からランダムに選択した。被験者は 5 名である。また、被験者に特定の探索活動である、“絵画の各部分に強い興味を持ち詳細に見る”見方と、それ以外の見方である“絵画全体を見わたす”見方を交互に 10 秒ごとに指示し、合計 40 秒間行ってもらった。以上の試行を 1 被験

者に対し、3回行った。各試行で提示する絵画は変えている。

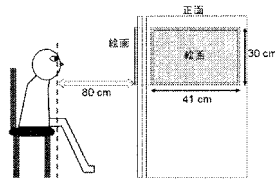


図4 実験の条件

### 3.3.3. 停留時間、停留点の発生時間間隔、停留点の連続数に関する特徴

絵画鑑賞の特定の探索活動における視線の停留時間の特徴としては、停留時間が300[ms]以上の視線の停留が多くみられる傾向があり、それ以外の見方である拡散的探索活動における視線の停留時間の特徴としては、停留時間が300[ms]未満の視線の停留が多くみられる傾向があることが示されている[10]。実験より、特定の探索における停留時間の頻度分布を確認したところ、300[ms]以上の視線の停留の割合が特定の探索における全停留点の約82%を占め、また、300[ms]未満の視線の停留の割合が拡散的探索における全停留点の約79%を占めていた。これより、実験における特定の探索と拡散的探索の視線データが、興味や関心などを反映した特徴を捉えていることが確認できた。本研究では、特定の探索における視線の停留時間条件として、文献[10]で示されている300[ms]以上の視線の停留を採用する。

次に、特定の探索において、300[ms]以上の視線の停留の発生時間間隔の特徴を調査した。その結果を図5に示す。図中の横軸は、発生時間間隔を表しており、300[ms]以上の視線の停留を検出し、次の300[ms]以上の視線の停留が検出されるまでの時間を示す。また、図中の縦軸の頻度は、(横軸の条件を満たす発生時間間隔数) / (“特定の探索”で獲得された全発生時間間隔数)である各条件の時間間隔数の頻度を示している。結果より、300[ms]以上の視線の停留の発生時間間隔が、600[ms]未満である条件の場合、特定の探索における視線の停留の発生時間間隔の約95%を占めることが特徴として検出できた。本研究では、この条件が、特定の探索における停留点の時間間隔における特徴の1つであると捉え、停留点の時間間隔の条件をこの600[ms]未満と設定する。この条件を設定した理由として、600[ms]より小さな値では、特定の探索の視点の検出条件が厳しくなり、特定の探索における停留点を検出する精度が低くなる。600[ms]より大きな値では、特定の探索における停留点を精度高く検出できる、反面、特定の探索の視点の検出条件が緩くなるため、誤検出が多くなることが挙げられる。

次に特定の探索における300[ms]以上の停留点

の連続数に関する特徴を図6に示す。縦軸は、(横軸における条件を満たす停留点数) / (特定の探索における全停留点数)である各条件を満たす停留点数の割合を示している。結果より、300[ms]以上の視線の停留が、600[ms]以内に出現し、この停留点が4回以上連続して出現する状態が、特定の探索における全停留点数の約97%を占めていることが特徴として検出できた。また、300[ms]以上の停留点が、600[ms]以内に出現し、この停留点が連続して出現する3回以下の状態が、拡散的探索における全停留点数の約95%を占めていることが特徴として検出できた。

以上の結果より、特定の探索の特徴として、300[ms]以上に停留が、600[ms]以内に出現し、この停留点が4回以上連続して出現する状態が現れることが確認できた。よって、上記の条件を、特定の探索の視点検出における停留点の時間的な発生頻度に関する条件として設定する。この値は、5章で述べる提案手法による視点検出の評価実験の際の判定条件とした。

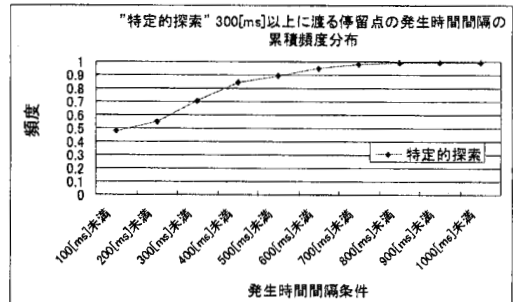


図5 停留点の時間間隔における特徴

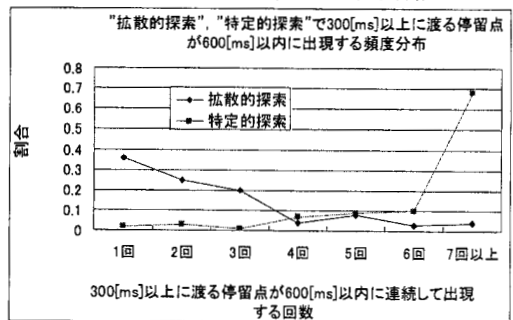


図6 停留点の連続数における特徴

## 4. 提案手法の有効性の考察

### 4.1 提案手法と比較手法

3.3.3で述べた実験により、特定の探索の視点の特徴を分析した。提案手法では、特定の探索とそれ以外の見方である拡散的探索が行われている視点データから特定の探索の視点を検出するために、停留時間条件に加え停留点の発生時間間隔と停留点の連続数を考慮している。本手法による視点検出の有効性を検証するため、視点検出において一

一般的な停留時間条件による手法との比較を行う。

停留点の発生時間間隔と停留点の連続数の条件は一定の値ではなく、各停留時間条件によって、停留点の時間間隔や停留点の連続数の条件それぞれで適した値を実験結果より調べ、それを提案手法における条件の値として定め検証を行っている。

#### 4.2 提案手法の検証と結果

*Recall* (再現率), *Precision* (適合率), *F* 尺度により評価した。*Recall* は、式(1)で求め、*Precision* は、式(2)で求める。式中の「正しく検出できた停留点数」とは、提案手法、比較手法により獲得される停留点の内、実験実施者が見方を指示した特定の探索の状態における停留点数であり、「特定の探索の全停留点数」は、特定の探索の見方で獲得された全停留点数である。また、「検出された全停留点数」とは、特定の探索とそれ以外の見方である拡散的探索が行われている状態の視点データから、提案手法、比較手法により獲得される、特定の探索の停留点であると判定された停留点数の総計である。

$$Recall = \frac{\text{正しく検出できた停留点数}}{\text{特定の探索の全停留点数}} \quad (1)$$

$$Precision = \frac{\text{正しく検出できた停留点数}}{\text{検出された全停留点数}} \quad (2)$$

*F* 尺度は、(3)の式で算出される。*F* 尺度は、検出漏れの少なさを示す *Recall* と誤検出の少なさを示す *Precision* の調和平均によって求まり、一般にトレードオフの関係にある要素を総合的に評価する尺度である。

$$F\text{尺度} = \frac{2 \times Recall \times Precision}{Recall + Precision} \quad (3)$$

特定の探索の視点検出において、提案手法である“停留点の時間的な発生頻度”に着目する手法と停留時間条件を利用した手法による、*Recall*, *Precision*, *F* 尺度の結果を図 7-8 に示す。結果より、停留時間条件が 300[ms]以上である場合に *F* 尺度の値が最良であり、絵画鑑賞における見方の違いにおいて、停留時間条件である 300[ms]以上の視線の停留の条件が、絵画鑑賞における特定の探索の特徴を捉えているからであると考えられる。

提案手法は、獲得される停留点の中から、特定の探索活動の特徴を持ったものを検出しているため、*Precision* の向上は期待できるが、*Recall* の低下も懸念される。しかし、*F* 尺度で考察すると、*Recall* を大きく低下させずに *Precision* を向上させることが確認できる。また、300[ms]以上の条件において、従来手法、本手法共に最もよい *F* 尺度の値が出ており、かつ、提案手法は、比較手法より精度の向上が見られた。よって、特定の探索の視点の検出において、停留時間条件の値の変更より、提案手法は有効であることが確認できた。

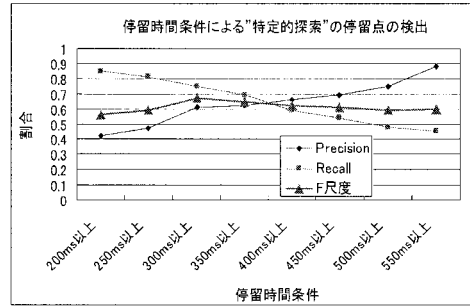


図 7 停留時間条件による手法

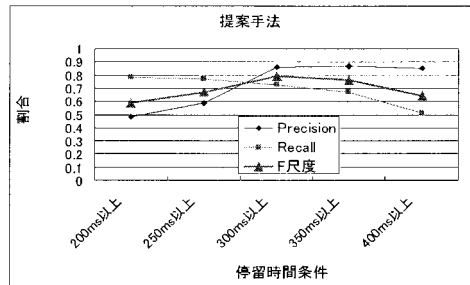


図 8 停留点の時間的な発生頻度に着目した手法

#### 5. 提案手法による視点検出の評価実験

実際にユーザが自由に絵画を鑑賞している状態において、提案手法で検出される注目点が、“興味を持ち、部分を詳細に見ている”箇所を検出できているか評価実験を行う。

評価方法は、他研究での判定に基づき得られる視点(注視点、停留点)分布と提案手法に基づき検出される注目点分布とを比較する。

##### 5.1 評価実験の方法

評価実験の概略は図 4 である。被験者に絵画 1 枚を提示し、自由に絵画鑑賞をしてもらった。被験者は 5 名である。被験者に課した絵画鑑賞時間は、40 秒である。鑑賞後、被験者に“興味や関心などを持って、各部分を詳細に見ていた”絵画内の領域を記述してもらった。ユーザが“興味を持って、各部分を詳細に見ていた”箇所の記述例を図 9\*に示す。被験者 1 人に対し、同じ内容の実験を 4 回行った。被験者に提示する絵画は、各試行で替えている。



図 9 被験者によって記述された領域の例

\*使用した絵画は、Temptation of ST. Anthony (Hieronymus Bosch)

## 5.2 評価方法

絵画鑑賞後に被験者に記述してもらった領域(図9)と提案手法の注目点分布(図10(a), 300[ms]以上の停留時間条件により検出される停留点分布(図10(b)), 各関連研究での注視点, 停留点の分布(図10(c)-(f))とを比較し, “被験者が興味を持ち詳細に見ていた”箇所を的確に捉えることが出来ているかを調べる。検出精度は, 式(4)で求める。

$$\text{検出精度} = \frac{\text{領域内の視点数}}{\text{検出された視点数}} \quad (4)$$



図10 視点の分布例

## 5.3 検証結果

結果を表1に示す。表より, 関連研究における視点検出法と比べ, 提案手法における注目点の方が, “ユーザが強い興味や関心を持ち, 各部分を詳細に見ている”視点を捉えていることが確認できる。また, 視点分布の結果より, 関連研究における視点検出(図10(b)-(f))では, “ユーザが強い興味を持って見えていた箇所”と誤って検出された絵画内上部の破線で囲んだ視点が確認でき, 提案手法がより有効な手法であることも確認できる。これより, 絵画鑑賞の際のユーザの強い興味や関心などが反映された視点の検出において, 一定の条件を満たす停留点の時間的な発生頻度に着目する提案手法が有効であることを示すことができた。

表1. 検出精度

視点定義法	検出精度
注視点の定義	62%
山田ら[4]の定義	66%
戸田ら[5]の定義	66%
大野ら[6]の定義	68%
提案手法	77%
300[ms]以上の停留の条件	69%

## 6. まとめと今後の課題

本稿では, 強い興味や関心などが反映された視点の検出を行うため, 一定の停留時間条件を満たす停留点の発生頻度に着目した視点検出の方法を提案した。3.3.1の実験では, 他研究で明らかにされている, 絵画鑑賞における眼球運動に着目し, ユーザの興味や関心などの心的状態が反映された視線や眼球運動の特徴の検出を行い, ユーザの強い興味が反映された箇所の検出とその評価を行った。絵画などのユーザ個人による興味などによる影響を及ぼさず考えられる対象では, 視線や眼球運動に特徴が現れることが確認できた。また, 従来の停留時間を利用した手法と比べ, 提案手法である“一定の条件を満たす停留点の発生頻度”に着目した方法は, ユーザの興味や関心などが反映された視点の検出においてより有効な手法であると考えられる。これより, 視線を利用したAR環境におけるユーザの興味対象の検出や興味モデルの構築での利用が期待できると考えられる。

今後の課題としては, “停留点の発生頻度”に着目した手法が, 他の視覚情報でも有効な手法であるかの検証やユーザの興味や関心などが反映された視点の検出における精度改善がどのくらい有効であるかの確認などが挙げられる。

## 参考文献

- [1] 大野健彦, “視線を用いたインタフェース”, 情報処理, Vol. 44, No. 7, pp. 726-732 (2003).
- [2] 東中竜一郎, 大野健彦, “視線に基づく文書理解とその応用”, 情処研報, HI-102, pp. 31-38 (2003).
- [3] 榊原章仁, 浮田宗伯, 木戸出正継, “視線履歴を用いた注視領域抽出”, 信学技報 PRMU, Vol. 102, No. 554, pp. 1-6 (2003).
- [4] 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”, 電子情報通信学会論文誌 Vol. J69-D, No. 9, pp. 1335-1342 (1986).
- [5] 戸田航史, 中道上, 島和之, 大平雅雄, 阪井誠, 松本健一, “Web ページ閲覧者の視線に基づいた情報探索モデルの提案”, 情処研報, HI-113, pp. 35-42 (2005).
- [6] 大野健彦, “Web 画面における情報選択行動と視線の関係”, 信学技報 HIP-11, pp. 31-36 (2000).
- [7] 中山実, 高橋功次, 清水康敬, “注視とサッカードの頻度が眼球の活動に及ぼす影響”, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol. J85-D-I, No. 9, pp. 931-935 (2002).
- [8] 田邊喜一, 杉山誠, “視線位置と自発性瞬目に基づく注目対象の推測に関する研究—短時間呈示された個々の刺激に対する注目の有無の推測実験—”, 映像情報メディア学会誌 Vol. 51, No. 10, pp. 1761-1767 (1997).
- [9] 海老澤嘉伸, 杉浦光洋, “指標と注視点条件の視覚依存性意識的サッカード特性への影響”, 映像情報メディア学会誌 Vol. 52, No. 11, pp. 1730-1737 (1998).
- [10] ロバート・L・ソルソ, “脳は絵をどのように理解するか”, 新曜社 (1997).
- [11] 池田光男, “眼はなにを見ているか”, 平凡社(1988).