

## 画像による主観評価に用いる視線計測システムの開発

Development of View Point Measurement System for Opinion Test with Pictures

○大須賀智洋\*, 田中元志\*, 井上浩\*, 新山喜嗣\*\*

○Tomohiro Oosuga\*, Motoshi Tanaka\*, Hiroshi Inoue\*, Yoshitsugu Niiyama\*\*

\*秋田大学大学院工学資源学研究科, \*\*秋田大学大学院医学系研究科

\*Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University

\*\*Graduate School of Medicine, Akita University

キーワード：視線計測(view point measurement), 視線停留(eye gaze)  
画像(picture), 主観評価実験(opinion test)

連絡先：〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1

秋田大学大学院工学資源学研究科 電気電子工学専攻 井上研究室

大須賀智洋 Tel : 018-889-2492, Fax : 018-835-4651, E-mail : ohsuga@venus.ee.akita-u.a.c.jp

### 1. はじめに

現在、製品の設計・開発など、ヒトが最終的な受け手となるものの多くに主観評価試験が行われており、重要な役割を果たしている<sup>1)</sup>。ヒトの生理情報を用いた主観評価の定量化に関する検討については、絵画鑑賞時の眼球運動と嗜好性の関係<sup>2)</sup>、心拍変動によるディスプレイ作業意欲の評価<sup>3)</sup>、事象関連電位による画質評価<sup>4)</sup>、など行われているが、主観評価との対応は明確な定量化としては得られていない。

これまで、筆者らは画像を提示した時に、好き・嫌いなどと被験者が主観評価した時の脳波（特に P300 などの事象関連電位）を定

量評価の指標とする研究<sup>4),5)</sup>を進めている一方、脳波だけでなく、生体生理信号と合わせて計測する試みを行っている。

ヒトは、主観評価対象が与える刺激や感性情報を感覚器官から受容し、脳の高次認知処理によって生起される神経系活性化によって、心臓・眼球などの器官に様々な反応を引き起こすと考えられる<sup>6)</sup>。特に、視覚による情報量は全体の 83%といわれ、ほぼ支配的である<sup>7)</sup>。また、興味のある視覚情報に対しては空間的・時間的分解能の高い中心窩で見ようとして、眼球運動を随意的に引き起こすことが報告されている<sup>6)</sup>。すなわち、視線が停留して得られる視覚情報により脳の高次認

知処理が行われ、生起された感性による神経活性化が引き続く眼球運動を起こすと考えられる。視線は、眼球運動による注視(ある箇所に視線が停留あるいは追尾する眼球運動)とサッケード(注視する点を変える時に発生する眼球運動)によって形成される<sup>8)</sup>。サッケード中は網膜に投影される像が不鮮明となるため、視覚情報を取り入れることはできず、視線が停留した時に視覚情報を取り入れていることが知られている<sup>6)</sup>。

従来の主観評価時の脳波(特に事象関連電位)の計測に、視線の動きに対応する計測情報を加えることは、新しい主観評価の定量化法につながると考えられる。

本研究は、主観評価中の視線情報と脳波を同時計測するシステムの開発を目指して、画像の主観評価時の視線を計測可能な視線計測システムを構成したものである。また最後に、食品画像を評価画像として、主観評価時の視線の計測を行った例を示し、視線停留時間の可能性を明らかにした。

## 2. 主観評価に用いる視線計測システム

### 2.1. 目標とする視線計測システムの仕様

被評価画像を提示し、それを被験者が主観評価するときの視線を計測するシステムの構成は、図1のように構成する。

視線の動きは、被験者の瞳孔の動きをCCDカメラにより2次元的に測定する。瞳孔の方向に視線があると考えて、LCD上の視線の位置を特定する。すなわち、瞳孔を計測した視線と画面の対応関係が正確に、しかも動きとして計測できる必要がある。そこで、検討すべき内容は以下になる。

- 1) 瞳孔の計測と画面との対応関係をつけること。その場合に、画面上の空間分解能が十分であること、すなわち瞳孔中心座

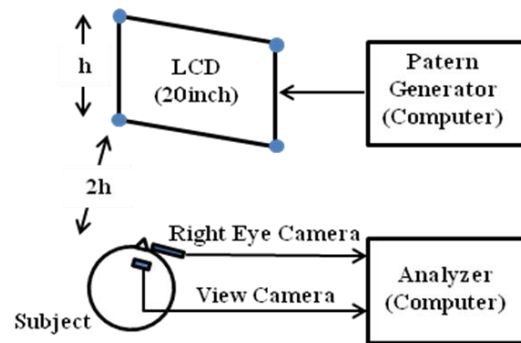


図1 視線計測システム

標と視線座標への変換が、視覚生理との関係で十分であることが必要である。

- 2) 視線の停留を計測するために、視線の停留点を抽出し、停留する時間を計測できることが必要である。
- 3) 絶えず動く被験者の瞳孔を正確に、ノイズなく計測できることが必要である。

ヒトの視野について、眼球運動だけで対象を注視し、瞬時に特定情報を受容できる有効視野(左右約 $15^\circ$ 、上約 $8^\circ$ 、下約 $12^\circ$ 以内)があることが知られている<sup>8)</sup>。視線の動きと主観評価の関係を見るためには、頭部運動を起こさずに、視線の動きのみを抽出できることが望ましい。評価対象と被験者間の視距離を画面高の2倍とすることで、画面をほぼ有効視野内に収めることができる。

また、ヒトは中心窩の視角約 $2^\circ$ の範囲が視力や色の弁別などの視機能が最も優れていることが知られている<sup>8)</sup>。そのため、視線停留点の誤差は視角 $1^\circ$ 以内であることが望ましい。また、視線停留点のばらつきは $1^\circ$ 以内であることが望ましい。

一方、ヒトはサッケードの開始において一定の潜時 $150\sim 250\text{ ms}$ を必要とするため<sup>9)</sup>、注視からサッケードを行うまでに、少なくとも $150\text{ ms}$ 以上視線は停留することになる。この視線の停留を検出するためには、サンプリング周波数が $14\text{ Hz}$ 以上であればよいと

考えられる。以上から、開発する視線計測システムが目標とする仕様は以下のようにまとめられる。

視距離：画面高の2倍

サンプリング周波数：14Hz以上

視線停留点の誤差：視角 $1^\circ$ 以内

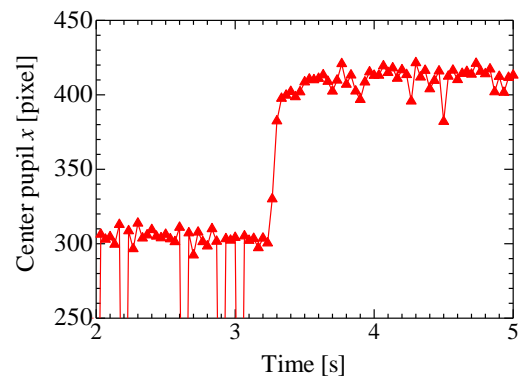
視線停留点のばらつき：視角 $1^\circ$ 以内

視線の検出範囲を評価画像提示用モニタ(20型LCD)上に限定し、全域が有効視野角内に入るように、画面高の2倍とした。

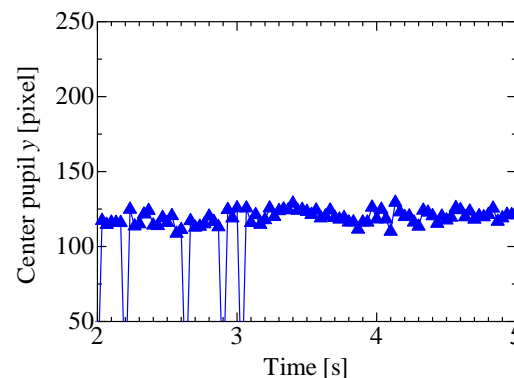
視線追尾装置 ViewTracker (Ditect 社) を用いて、右目の瞳孔と被験者が見ている風景をそれぞれ CCD カメラで撮影し、瞳孔中心座標を検出した。各映像のサンプリング周波数は 30 Hz である。撮影された瞳孔の画像( $480 \times 640 \text{ pixel}^2$ )から瞳孔中心を検出し、風景画像( $480 \times 640 \text{ pixel}^2$ )上の視線の位置と対応関係を求めることにより、視線の動きを検出する。

## 2.2. 瞳孔中心座標のノイズの処理

注視点を移動させたときの瞳孔中心座標を抽出した結果の例を図2に示す。図中の時刻約3.2~3.4秒がサッケード、それ以外が注視をしているときの時間波形である。注視時の瞳孔中心座標のばらつきが大きい。眼球はある箇所を注視している際も固視微動と言われる微小な運動を繰り返しており、その周波数成分は20~100 Hz程度であることが知られている<sup>8)</sup>。サンプリング周波数30 Hzの本装置では、この運動を捉えることはできない。よって、瞳孔中心座標のばらつきは、装置自体および被験者の眼鏡などによる瞳孔中心座標の検出偏差であると考えられる。また、時刻2~3秒においてはインパルス性のアーチファクトが多い。これは、まばたきやまつ毛などによって瞳孔中心座標を検出できなかったことによるノイズである。眼球運



(a) x 軸



(b) y 軸

図2 瞳孔中心座標の時間波形の例

動角のばらつきが視角 $1^\circ$ 以内(本システムでは10 pixelに対応)を満たすためには、これらノイズと考えられる成分を除去する必要がある。

注視時の瞳孔中心座標のばらつきを平滑化し、かつサッケード成分の急峻な波形変化を保存できる処理が必要である。その一方法として、画像のエッジ保存平滑化などに利用される適応型  $\alpha$ -Trimmed 平均値フィルタ<sup>10)</sup>の利用が考えられる。これは、信号の局所統計量を用いることで信号のエッジ成分やノイズの統計的性質の変化を検知し、エッジ保存平滑化とノイズ(ガウス性ノイズ+インパルス性ノイズ)が重畳されている信号の平滑化が期待できるフィルタである。

本システムでは、適応型  $\alpha$ -Trimmed 平均値フィルタを応用して、瞳孔中心座標のノイズ

除去を検討する. 画像処理用に定義された入出力の関係<sup>10)</sup>を, 入力信号を  $x(n)$ , 出力信号を  $y(n)$  として離散時間信号用に,

$$y(n) = \frac{\sum_{k=\alpha N-M}^{M-\alpha N} x(n+k)}{N(1-2\alpha)} \quad (1)$$

と書きなおした.  $x(n)$  の前後  $M$  (正の整数) 点の信号が用いられ,  $N$  はフィルタの窓長  $N=(2M+1)$  である. 式(1)は,  $\alpha=0$  のときに移動平均フィルタとなり,  $\alpha=(N-1)/2N$  のときは Through ( $y(n)=x(n)$ ) となる.

$\alpha$  は, フィルタ窓内の信号の統計量  $K(n)$  から決定される. 信号の平均値  $ave(n)$  を

$$ave(n) = \frac{\sum_{k=-M}^M x(n+k)}{N}, \quad (2)$$

分散  $var(n)$  を

$$var(n) = \frac{\sum_{k=-M}^M \{x(n+k) - ave(n)\}^2}{N} \quad (3)$$

とすると, 統計量  $K(n)$  は

$$K(n) = \frac{\sigma^2(n)}{\sigma_n^2 + \sigma^2(n)} \quad (0 \leq K(n) \leq 1)$$

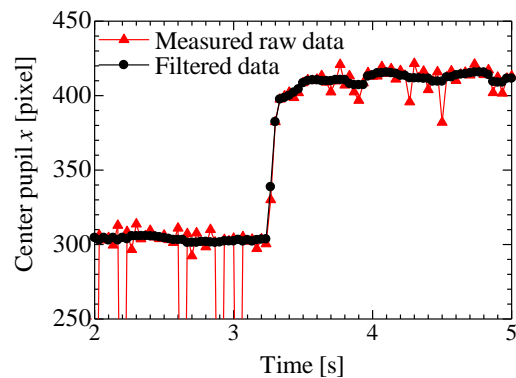
$$\sigma^2(n) = \begin{cases} var(n) - \sigma_n^2 & : \text{if } var(n) \geq \sigma_n^2 \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$\sigma_n^2 = 1.483 \operatorname{med}_{-M \leq k \leq M} \{|x(n+k) - x(n)|\}$$

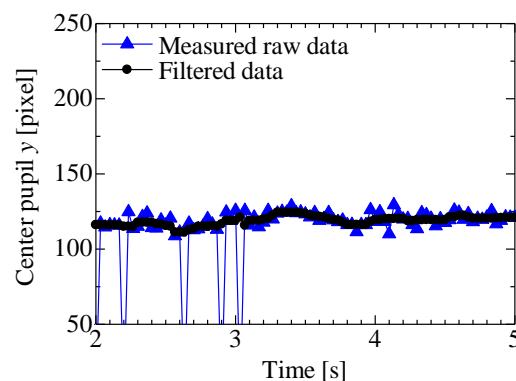
と定義される. ここで,  $\operatorname{med}\{x\}$  は中央値を求める関数である. フィルタ窓内に信号のエッジ成分が含まれている場合,  $\sigma^2(n) \geq \sigma_n^2$  となり  $K(n)$  は 1 に近い値となる. 一方, 処理点近傍が滑らかな変化をしている時は  $\sigma^2(n) \leq \sigma_n^2$  となり  $K(n)$  は 0 に近い値となる.  $K(n)=0$  のとき  $\alpha=0$ ,  $K(n)=1$  のとき  $\alpha=(N-1)/2N$  となるように

$$\alpha(n) \cdot N = \lceil K^2(n) \cdot (N-1)/2 \rceil \quad (5)$$

と定義した. ここで,  $\lceil \bullet \rceil$  は丸め整数化処理を示す演算式である.



(a) x 軸



(b) y 軸

図3 フィルタリング後の  
瞳孔中心座標の時間波形

フィルタ窓長を  $N=5$  とし, 図2の瞳孔中心座標の時間波形について, ノイズの除去を行った. このとき, フィルタは, 瞳孔中心座標のばらつきによって, 遮断周波数約 3 Hz の LPF, 遮断周波数約 5 Hz の LPF, および Through のいずれかとなる. 結果を図3に示す. x 軸の瞳孔中心座標の標準偏差(ばらつき)は, フィルタリング前は x 軸が 68.5 pixel, y 軸は 34.1 pixel であったが, フィルタリング後は x 軸が 2.11 pixel, y 軸は 1.98 pixel となった. 本処理の効果が確認できた.

### 3. 視線と停留の抽出

#### 3.1. 瞳孔中心座標の視線座標への変換

瞳孔中心座標から提示画像上の視線座標への変換が必要である. この変換は, 計測前

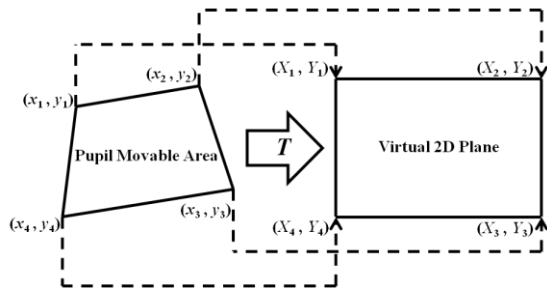


図4 1次射影変換のモデル図

の校正方法とも関連する. マグニチュード校正法<sup>9)</sup>, アフィン変換を用いた校正法<sup>11)</sup>などが従来用いられているが, 被験者への負担が大きく, 線形変換ではないことが問題となる.

線形変換が可能で, かつ被験者への負担が小さい方法の一つとして, 1次射影変換<sup>12)</sup>が挙げられる. これは, 4点の座標による任意の形の四角形を射影変換係数によって別の形の四角形に変換する方法である. 1次射影変換のモデル図を図4に示す. 眼球の動きは, 図4の左側の四角形のように歪んだ形となる. このように歪んだ形を任意の四角形に変換できる. モニタ上のある点に視線を向けたときの平均瞳孔中心座標を  $x_i, y_i$  [pixel] とすると, モニタ上の視線の平均位置座標を  $X_i, Y_i$  [pixel] は,

$$\begin{aligned} X_i &= \frac{a_1 x_i + a_2 y_i + a_3}{a_7 x_i + a_8 y_i + 1} \\ Y_i &= \frac{a_4 x_i + a_5 y_i + a_6}{a_7 x_i + a_8 y_i + 1} \end{aligned} \quad (6)$$

で定義される. ここで,  $a_1 \sim a_8$  は射影変換係数である.

射影変換係数は, 4点の校正点を注視させたときの瞳孔中心座標から求める. この過程が校正である. 射影変換係数を求めるために参照とする校正点としては, なるべく広い範囲の注視位置と瞳孔中心座標の対応関係が求まる校正点が望ましい. 本システムでは, ヒトの有効視野角を考慮して, 図5に示すよ

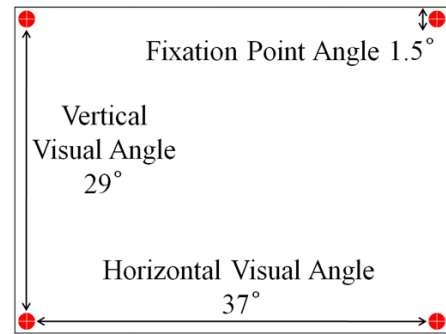


図5 視線計測システムにおける校正点

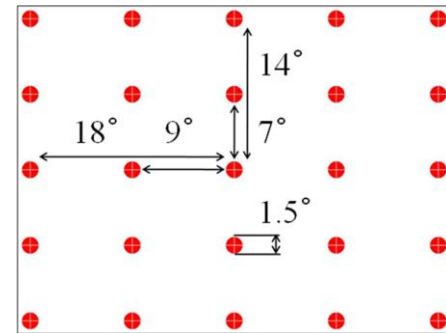


図6 校正精度確認用固視点モデル

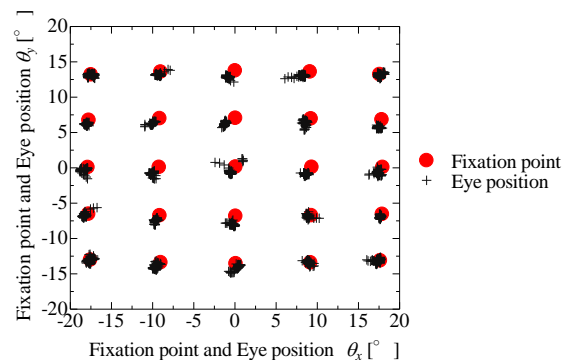


図7 図6の固視点モデル注視結果の例 (被験者A)

うに, モニタ画面の4隅に校正点を置いた. 視線座標  $d$  (式(6)で求めた  $X_i, Y_i$  [pixel]) を次式で眼球運動角  $\theta$  ( $\theta_x, \theta_y$  [°]) に変換した.

$$\theta = 2 \tan\left(\frac{P_w \times d}{2D}\right) \quad (7)$$

ここで,  $D$  は視距離[mm],  $P_w$  は単位ピクセル幅[mm] である.

図6の固視点モデルを用いて, 被験者が固視点を順に注視したときの結果の例を図7に示す. 固視点座標と眼球運動角の差分をと

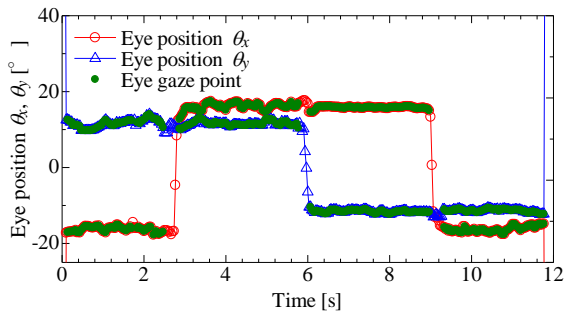


図8 校正点注視中の停留抽出結果の例  
(被験者 A)

り，その平均値を求めた結果， $\theta_x$ は  $0.14^\circ$ ， $\theta_y$ は  $0.087^\circ$  となった．被験者 3 名について行った結果，視角範囲約  $0.7^\circ$  の測定精度で，瞳孔中心座標から視線座標に変換できることが確認された．また， $7^\circ$  以上離れている固視点注視中の視線が分離できることも確認できた．

### 3.2. 視線の停留点と停留時間の抽出

第 2.1 節で述べたように，ヒトは中心窩の視覚約  $2^\circ$  の範囲で対象の視覚情報を得ており<sup>8)</sup>，またサッケードの開始には潜時 150 ms 以上が必要とされる<sup>9)</sup>．これらの点から，視線が視角  $2^\circ$  の範囲内に 150 ms 以上停留していれば，停留箇所の視覚情報を取り入れていると考えられる．

そこで，停留を判断する眼球運動角については，被験者毎の計測値のばらつきを考慮し，校正用画像（図 5）注視時の眼球運動角の標準偏差  $x_{th}$ ， $y_{th}$  を求め，閾値とした．眼球運動角の差分値が「閾値  $x_{th}$ ， $y_{th}$  以下，かつ 150 ms 以上継続した場合」に停留と判定した．

図 5 の校正点を注視させたときの視線について，視線停留を抽出した結果の例を図 8 に示す．注視時の眼球運動角の標準偏差は  $x_{th}=0.43^\circ$ ， $y_{th}=0.75^\circ$  と求められ，これを停留判定の閾値に用いた．サッケードと考えられる部分は，停留と判定されていない．また，校正点に視線が停留していた時間は約 2.9 秒



図9 評価用食品画像

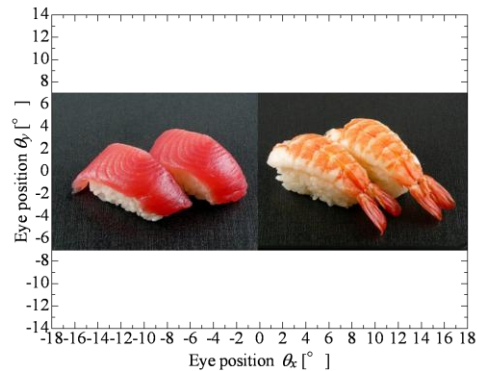


図10 評価用画像の提示例

であり，校正点が提示されていた時間 3.0 秒とほぼ一致した．本研究で定義した視線停留時間の抽出法を用いて，視線の停留とその時間を抽出できることが確認できた．

## 4. 好み評価時の視線の停留検出

食品画像を例に，画像 2 枚を被験者に提示し，一対比較法<sup>6)</sup>を用いて好みを評価させたときの視線とその停留時間を，開発した視線計測システムを用いて検出した<sup>13)</sup>．

### 4.1. 実験方法

評価用画像として，図 9 に示す「寿司」を用いた<sup>5)</sup>．評価用画像の提示例を図 10 に示す．被験者に与える課題として，提示された 2 枚の食品画像を比較評価し，「好き」な方の画像を選択させた．そして，その画像に対応したボタンを評価時間中に押させた．被験者の集中力の持続時間，疲労などを考慮し，試行回数は 20 回とした．評価画像提示時間中の抽出範囲内の視線停留時間と評価値を測定した．頭部運動による装置のズレを防ぐために，顎を軽く固定して測定を行った．ま

た、被験者には、瞬きを我慢しなくてもいいことと、目をなるべく細めないこと、の2点を指示した。被験者数は10名(21~24歳, 男性9名, 女性1名)であり, 同意を得たうえで実験を行った。

主観評価の流れを以下に示す。

### ① 校正用画像の提示

被験者毎の射影変換係数と停留の閾値  $x_{th}$ ,  $y_{th}$  を求めるために, 校正用画像として固視点モデルを1枚3s間の計12s間提示した。

### ② 白画像の提示

中央に固視点を設けた白画像を2s間提示し, 被験者に固視点を注視するよう指示した。

### ③ 評価用画像の提示

寿司の画像10種類を使用し, 図10に示すように, 異なる2枚の画像をランダムにモニタ上に3s間提示した。

### ④ 評価

被験者には, 白画像が提示されたら, 「好き」と評価した画像に対応したボタンを押すように指示した。

## 4.2. 結果と検討

好み評価時における画像毎の視線座標の眼球運動角を2次元座標上にプロットした図,  $x$ および $y$ 軸の視線座標のヒストグラムの例を図11に示す。プロット図を見ると, 視線座標は画像内の食品に集中していることが分かる。 $y$ 軸における視線座標のヒストグラムを見ると, 約 $0^\circ$ 付近にピークが1つあることが分かる。これは, 左右に配置した食品画像を見て好み評価を行うために,  $y$ 軸上の視線座標の動きにそれほど変化が起きなかったと考えられる。一方,  $x$ 軸の視線座標のヒストグラムを見ると, 約 $0^\circ$ を境にピークが2つあることが分かる。これは, 左右に配置した食品画像を見て好み評価を行ったためと考えられる。

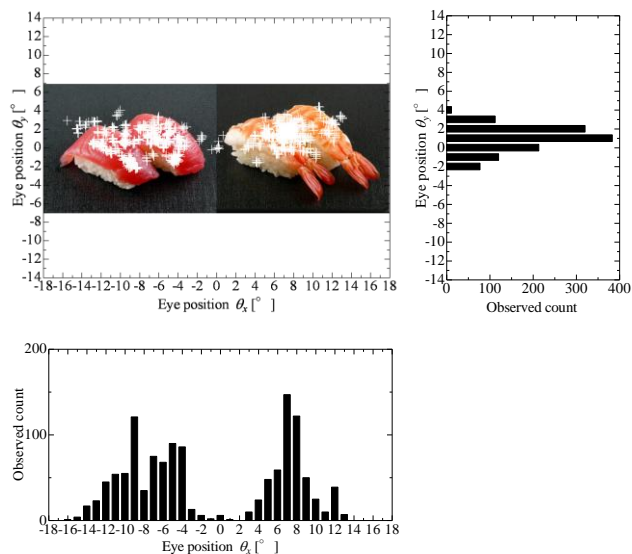


図11 好み評価時の視線の計測結果

(被験者 A)

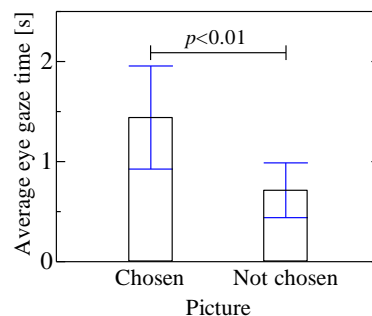


図12 好み評価時の視線停留時間の計測結果

被験者毎に, 評価用画像を提示した3s以内に, 「好き」と評価した画像(Chosen)と, 評価されなかった画像(Not chosen)それぞれについて視線が停留した時間を求めた。視線停留時間の平均値と標準偏差を図12に示す。図中の $p$ は対応のある $t$ 検定の有意確率である。「好き」と評価した画像の視線の停留時間は, 他方の画像の停留時間に比べて有意に長い結果となった( $p < 0.01$ )。好みによる視線停留時間の違いを検出できることが確認できた。また, 停留時間による主観評価の定量化の可能性が得られた。

## 5. おわりに

画像を用いた主観評価時の視線を計測す

るために、視線計測システムを開発した。本システムを用いることで、視線の停留点座標と停留時間の検出が可能であることを示した。また、本システムを用いて、食品画像を評価画像として主観評価時の視線の計測を行った結果、評価による視線停留時間の違いを検出でき、視線停留時間の可能性を明らかとした。今後は、画像の提示および評価方法などの実験プロトコルについて検討と、視線と脳波の同時計測システムの構築を行っていく予定である。

**謝辞** 被験者として協力頂いた方々に感謝する。また、本研究の一部は平成 21 年度文部科学省都市エリア産学官連携促進事業(秋田県央エリア)の援助で行われた。

### 参考文献

- 1) 石原他, “商品開発と感性”, 海文堂, 2005
- 2) 高橋英之, 西森望, 大森隆司, “絵画鑑賞時の視線の動きから嗜好を読み取る”, 信学技報, NC2009-162, pp.437-442, 2010
- 3) 永田健太郎, 田村哲哉, 飯田健夫, “機器操作時における精神的負荷の生理的計測”, D&D98 講演論文集, pp.71-72, 1988
- 4) 田中元志, 井上浩, 新山義嗣, “事象関連電位による画像品質評価のための課題に関する実験的検討”, 映情学紙, Vol.63, No.2, pp.222-224, 2009
- 5) 田中元志, 本間智大, 井上浩, 新山喜嗣, 高橋徹, 熊谷昌則, 秋山美展, “食品の好み評価時の事象関連電位に関する実験的検討”, 電学論 C, Vol.131, No.1, pp.96-101, 2011
- 6) 飯田 健夫, “感覚生理工学”, コロナ社, 2009
- 7) 教育機器編集委員会, “産業教育機器システム便覧”, 日科技連出版社, 1972
- 8) John M. Findlay, Iain D. Gilchrist, 本田 仁視, “アクティブ・ビジョン”, 北大路書房, 2006
- 9) 古賀一男, “眼球運動実験ミニハンドブック”,

労働科学研究所出版部, 1998

- 10) 田口亮, 村田裕, “局所統計量を用いた適応型  $\alpha$ -Trimmed 平均値フィルタの提案”, 信学技報, CAS93-23, pp.69-74, 1993
- 11) Eui Chul Lee, et. al., “A brain-computer interface method combined with eye tracking for 3D interaction”, Journal of Neuroscience Methods, Vol. 190, pp.289-298, 2010
- 12) 長谷川浩司, “線形代数”, 日本評論社, 2005
- 13) 大須賀智洋, 田中元志, 井上浩, 新山喜嗣, “画像を用いた好み評価時の視線停留時間に関する検討”, 平成 23 年東北地区若手研究者研究発表会, YS-9-E8, 2011