

## eラーニングにおける学習支援に向けた 瞳孔反応取得システムの構築

野間慶子 小川賀代

あらまし eラーニング学習では、対面学習と比較して質問がしにくい事が課題となっている。そこで、興味や関心によって散瞳する事が知られている瞳孔反応から、提示された問題に対して学習者が、行き詰まりや諦めなどを感じたかどうかを判断することが出来れば、ヒントの提示など、フォローが可能になる。本研究では瞳孔反応を取得可能な学習支援システムの提案及び、瞳孔反応からの諦め判定の解析を行った。

### Measurement system of pupillary responses for e-learning support system

Keiko Noma Kayo Ogawa

Abstract When learners have questions on e-learning, it is more difficult to ask questions than face-to-face learning. If we judge their resignation for problems, it enables them to follow up by giving hints. It is said that a pupillary response indicates papillary dilatation by one's own interests. In this paper, we describe the proposal learning-aid-system which can obtain pupillary responses and analysis results.

### 1. はじめに

eラーニング学習では、時間場所を問わず、自分のペースで学習を行えるという利点を持つ一方で、対面学習と比較していくつかの課題があると言われている。主に、質問がしにくい、スケジュール管理を自分で行わないといけなく、そして臨場感が少ない、の3つをあげることができる。これら3つの課題の1つである「質問がしにくい」の解決方法の一つとして、学習者が質問したいタイミングを見極め、ヒントなどを提示するという方法が考えられる。これまでにも、学習ログの解析を行うことによる学習形態に合わせた学習方法のフィードバックの検討 [1]や、キーボードやマウスの操作を履歴データとして活用した学習者の行動パターンの分析 [2]によって、学習者が問題に対して、行き詰まりや諦めなどを感じたタイミングを判定し、ヒントの提示に向けた研究が行われている。これらはデータマイニングによる解析を用いた手法であるが、この他にも、学習者の学習時の心理状態を把握できる指標として、生体情報があり、心拍数や呼吸数、脳波[3]、学習者の視線[4]などを用いた解析手法が挙げられる。そこで、本研究ではその中でも非接触で測定が可能かつ、集中力や眠気などによって変化をする瞳孔の変化[5]に着目し、瞳孔の変化を解析してリアルタイムに学習者の行き詰まりなどを判定するシステムの提案及び、瞳孔反応からの諦め判定の解析を行った。

また、従来の瞳孔反応測定装置は解像度の高いカメラや、小型で精度の良いものを使う為、コストがかかるものが多かった。しかし、eラーニングで利用するにあたって、幅広い導入が難しい。そこで、昨今のデジタル技術の向上により、高解像度なwebカメラが普及してきていることから、webカメラで、瞳孔反応を検出できるシステムが構築できれば、コストも掛からず個人での準備も可能であると考えられる。このことから、安価なwebカメラを利用したシステムの構築をおこなった。

### 2. 心理状態と瞳孔の関係

瞳孔は、明るさによって変化することが有名であるが、心理状態によってもわずかに変化することが知られている[5]。実際の変化量は明るさによる瞳孔径の変化が平均半径1～3mmの間で変動するのに対して、心理状態の変化は同じ光源下で、0.2mm程度とわずかである。この変化は、虹彩内を通る不随意の自律神経の働きによる2つの筋肉の働きによって生じる。虹彩内を円形に走る瞳孔括約筋は、副交感神経の筋肉である。この為、眠たい時など、体が休息に向かっているときに筋肉が収縮し、縮瞳現象が起きる。また、虹彩内を放射状に走る瞳孔散大筋は、交感神経系の筋肉である。

---

日本女子大学  
Faculty of Science, Japan Women's University

この為、集中時など脳が活性化している時、筋肉が収縮し、これによって散瞳現象が起きると考えられている。

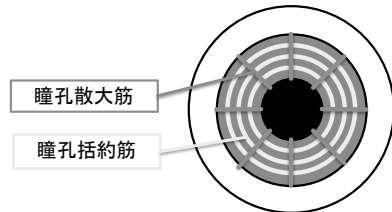


図1 瞳孔散大筋と瞳孔

この仕組みから、瞳孔からは集中力や眠気の情報を得ることができると言われ、音環境が与える集中力の変化を判断する実験[6]などに利用されていることから、この仕組みがシステムへ利用できると考えられる。

### 3. 瞳孔反応取得システムの概要

心理状態の変化を示す微小な瞳孔反応を取得するシステムを Lab-View によって構築を行った。指標動画の再生は再生速度の安定化を図るため、Lab-View 上でなく、別途に立ち上げた web ブラウザで並列的に再生を行うこととした。再生開始時のタイミングのみ Lab-View 上で出力させた。また、瞳孔反応の取得として、瞳孔の半径、瞳孔の中心座標などを画像処理した画像から算出した後、Lab-View 上で結果を出力させた。システムのフローチャートを図2に示す。

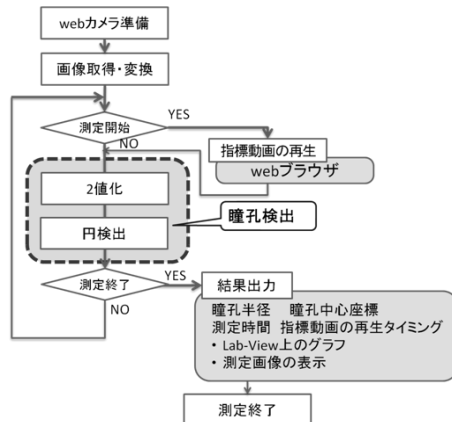


図2 瞳孔検出システムの流れ

瞳孔検出は、図2中のフローの点線部で行っている。webカメラから取り込んだ画像を2値化画像に変換し、変換した画像から円を検出することによって行う。

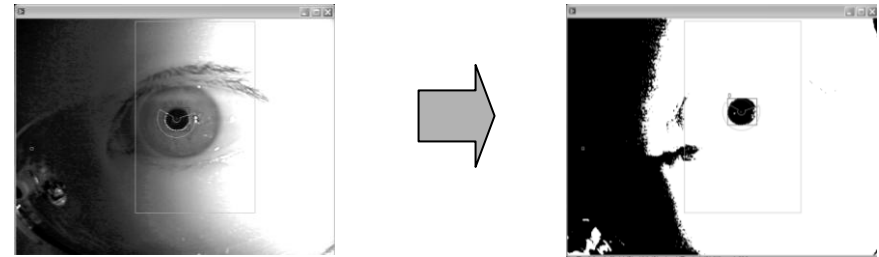


図3 測定画像の2値化

円検出には、Lab-View Vision の Find Circular Edge の関数を利用する。Find Circular Edge の VI この関数は検出範囲内の円形エッジを読み取り、0.5pixel の精度で円検出を行う関数である。円形エッジの検出範囲は単純な円でも可能だが、持続的に検出を行うにあたって、瞳孔の検出は少しまぶたが下がった時など、本来円形である瞳孔が少しかけてしまった場合でも検出を行いたい為、検出範囲を図4の破線部の様に設定し、範囲内にある円弧エッジを検出できるように改良した。

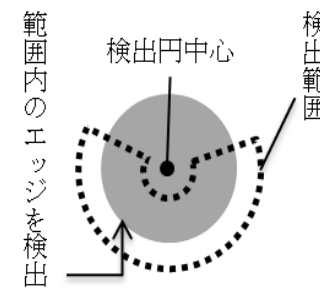


図4 瞳孔の検出範囲

検出範囲の角度、大きさは手動で調整可能である。また、光源は、瞳孔の取得が容易であると共に、光による瞳孔反応を防ぐ赤外光を使用した。検出にかかる時間は web カメラのフレームレートに依存し、現在は使用した web カメラの最大速度 30fps で測定が可能である。

実際の実験システムの操作盤は図5のようになっており、各ボタンで、指標動画の再

生や、瞳孔の検出範囲などの操作を行うことができる様になっている。  
また、指標動画、及び測定画像はボタンを押す事で別窓に表示される。

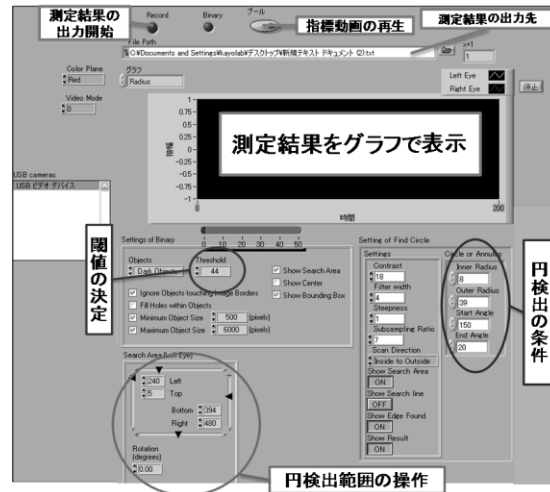


図5 システムの操作盤

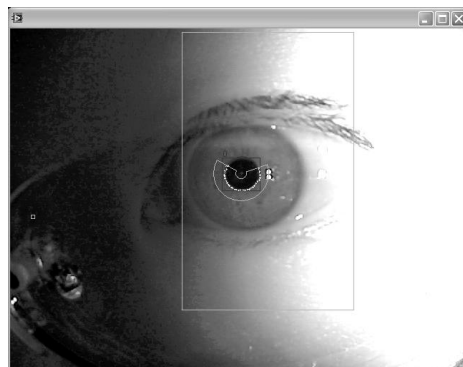


図6 測定画像

## 4. 実験及び結果

### 4.1 実験環境

実験環境を図7に示す。

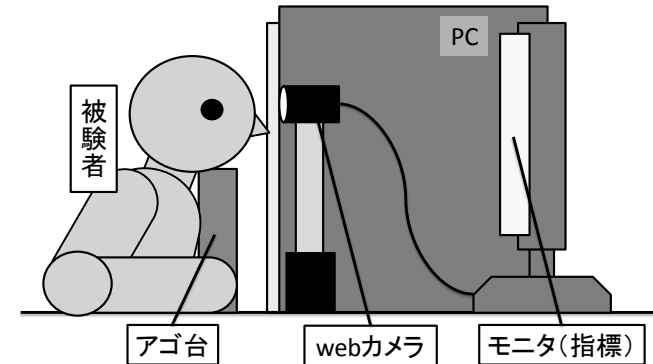
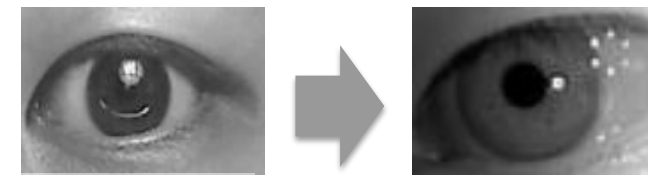


図7 実験環境

測定に使用したwebカメラは、瞳孔の取得が容易、光の影響を受けないなどの事から、赤外光源付のカメラを利用した。



通常光源

赤外光源

図8 赤外光源は瞳孔の取得が容易

測定条件は以下のようにになっている。

- ・ 外部光の影響を避けるために暗室で測定
- ・ webカメラは被験者の目の前(5cm程度)に設置
- ・ 頭部が動かないよう、アゴ置き台を使用
- ・ webカメラはフレームレート30fpsを出すために、画像サイズ640×480で撮影
- ・ webカメラは被験者の左目のみ撮影(画面上のどこを見ているかを判別するため)

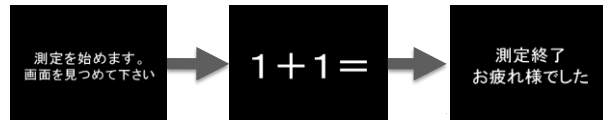
には両目の画像が必要だが、今回は瞳孔の大きさのみの測定の為、片目だけの情報で問題ない。) )

- ・ モニタから被験者までの距離は 20~30cm 程度

この実験環境を用いて、測定を行った。

#### 4.2 動作確認実験

システムの動作確認として、実験を行った。集中力による散瞳を測る実験として、正常な視力を持つ 20 代の女性 5 人に一桁の足し算を行ってもらい、その間の瞳孔半径を測った。実験環境は、前項で示したものに合わせて、人前で 1 桁の足し算を行わせることで被験者に精神的な負担を掛けて行った。実験に利用した指標は以下の様に、明るさの影響を受けないように輝度を揃えたものを使った。足し算は 1 問 3 秒で合計 3 分間になる。



指示画面(45 秒)→足し算(3 秒×60)→指示画面(30 秒)

図 9 実験指標

この測定条件で実験を行った結果、瞬きによるノイズなどを取り除くと図 10 の様な結果を得ることが出来た。

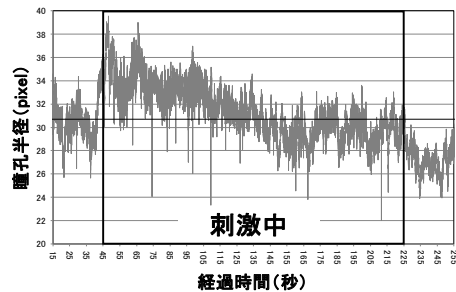


図 10 実験結果取得例

5 人の結果を比較するために、刺激前、刺激後、刺激中 1 分毎の瞳孔の平均半径の変化をまとめたグラフを図 11 に示す。

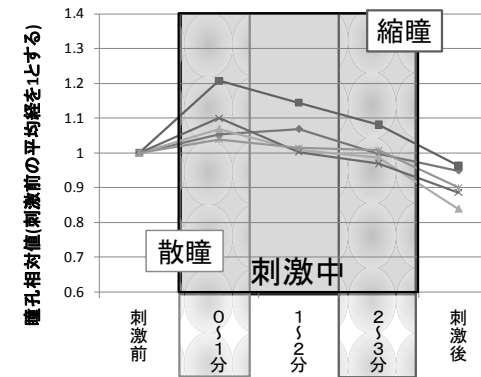
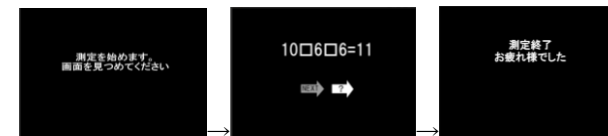


図 11 刺激前後の瞳孔平均半径の差

この結果から、刺激開始直後には 0.1% 程度の散瞳が、また刺激開始後、3 分では、集中力の低下による縮瞳が読み取れる。この結果より、構築したシステムによって、被験者の 3 分間の集中力の推移を測定することができ、e ラーニングへの利用に向けた可能性を示すことができた。

#### 4.3 諦め判定実験

本システムが、集中力による動向の変化を取得することが出来るシステムであることが分かったところで、正常な視力を持つ 20 代の女性 3 人で諦め判定実験を行った。実験指標は、 $5 \square 6 \square 5 = 35$  のように、虫食い問題を 1 問ずつ計 9 問解かせる図 12 のような指標になっている。



指示画面(60 秒)→計算問題×9→指示画面(60 秒)

図 12 実験指標

回答時間は設けず、自己申告で、分かった場合は「NEXT」のボタンを、わからなかった場合は「？」のボタンをクリックすると次の問題が表示されるようになっている。問題は、ランダムに解ける問題と解けない問題が表示されるようになっている。ボタンを操作したタイミング、及び自己申告による問題の分かったか、分からなかったかは、最後に表示されるようになっている。また、この指標も測定中に明るさによる瞳孔の変化が起きないように輝度を揃えたものを使う。

この測定条件で実験を行った結果、図 13 のような結果を得ることが出来た。グラフ上に×印が付いているのが、解けないと自己判断した場合である。

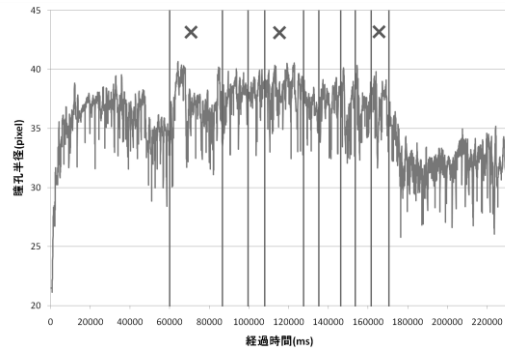


図 13 実験結果取得例

3 人の被験者が実験開始後最初に、解けないと判断した時の瞳孔変化を抜き出したものを図 14 に示す。抜き出したグラフには、1 フレームごとの瞳孔半径、問題解答中の平均瞳孔半径、5 秒ごとの平均瞳孔半径が示してある。なだらかな線である 5 秒ごとの平均瞳孔半径を比較したところ、3 人の被験者で、解けないと判断し、ボタンを押すまでの間に、1 度問題解答中の平均瞳孔径より縮瞳するという一様の傾向を確認することができた。

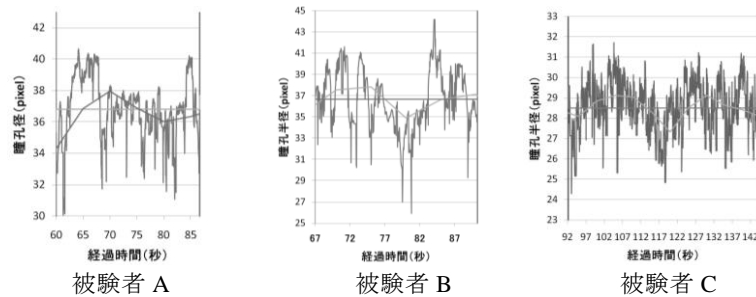


図 14 問題を諦めた場合の瞳孔の変化

この結果から、瞳孔の解析による諦め判定の可能性を得ることができた。

## 5. まとめ

今回は、e-ラーニングシステムへの利用へ向けた、Web カメラによる瞳孔反応から

集中力を取得し、問題に対する諦め判定への利用に向けたシステムの提案及び、実験を行い、諦め判定の可能性を得ることができた。今後は、更に様々な実験を行ない、より明確に学習者が諦めを感じたタイミングを得られるようにして行く。また、現在のシステムをより汎用性のあるものへと改良を目指すとともに、瞳孔だけでなく、視線の動きやまたたき回数なども加味した諦め状態の判定を行っていきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 佐々木未来, “CMS 学習履歴データの活用に向けた学習パターン分析の提案及び検証”, 情報処理学会研究グループ報告, 第 12, CMS 研究発表会, pp.1-5, 2009
- 2) 堀口祐樹, “e-learning における学習時の潜在的な意識変化の抽出システム”, 人工知能学会全国大会論文集, 巻:22nd, pp.1C1-02, 2008
- 3) K. Nosu and T. Kurokawa, “A Multi-Modal Emotion-Diagnosis System to Support e-Learning” information and Control, vol.2 pp.274-278 2006
- 4) 中村他, 情報処理学会論文誌, vol.47 No.7, 2006
- 5) 松永勝也, “瞳孔運動の心理学,” ナカニシヤ出版, 1990.
- 6) 中山実, “音環境が与える音読速度への影響と瞳孔面積変化”, 日本音響学会誌 45 巻 5 号, pp.368~373, 1989