

心理学実験における瞳孔サイズ計測を 低価格に行う試み

岡 田 圭 二

1. 目的

瞳孔のサイズを計測することは、心理測定において有用であり、心理的な変化を表すマーカー変数として利用されてきた（松永，1990）。瞳孔反応や瞬目（瞬間的なまばたき）は、意図的にコントロールしにくいいため、心的な変化に対する敏感な測度として利用できる。また瞳孔画像の処理に基づく視線のトラッキング（アイ・トラッキング）なども多くの研究において利用されている。

瞳孔の変化を測定する機器やアイ・トラッキングのシステムは高価（100万円単位のものがほとんどである）である。有効な心理指標であるにも関わらず、気軽に利用できるとは言えない現状にある。さらに高価であるため、利用に関する情報が少ない。また専用の機器であるため、自作のプログラムや装置にて気軽に利用しにくい。

このような問題点を踏まえて、本報告では、安価かつ利用しやすい瞳孔の面積計測システムの開発に関する情報を提供することを目的とする。この時、日本国内にて入手しやすい情報や機器を利用した。海外では安価なアイ・トラッキング・システムの自作の例が報告されている（Li & Parkhurst, 2006）。ただしその情報に基づいて日本にて同じものを作成するのは困難が

ある。その点において本報告の情報は役に立つ側面がある。瞳孔の計測が可能になれば、システムやコンピュータ・プログラムの発展により、視線のトラッキングも可能になる。

2. 瞳孔サイズ計測システムの内容

2-1 瞳孔サイズ計測システムの概要

次のような機器システムを開発した。システム全体は、次のように大きく3つに分けられる。それらは(1)赤外線カメラ部、(2)赤外線投影用ライト部、(3)計測用プログラム部であった。

赤外線カメラは、IEEE1394カメラ(赤外線カット・フィルタを除去した改造をしてある)、赤外線フィルタ、口径変換アダプタ、望遠レンズ、三脚で構成されている。赤外線投影用ライト部は赤外線LEDを利用した。計測用プログラムは、Microsoft社のVisual C++.net 2003によって開発を行った。その際に画像処理ライブラリとしてIntel社のOpenCVライブラリを利用した。表1に各部の詳細をまとめた。

表1. システム各部の機能と部品

名 称	機 能	構成部品等	価 格
赤外線カメラ部	<ul style="list-style-type: none"> ・瞳孔の画像を得る(カメラ) ・赤外線光線のみを通して、赤外線による像のみを得る(赤外線フィルタ+赤外線カット・フィルタ除去) ・眼の画像だけを得る(望遠レンズおよび口径変換アダプタ) ・カメラの安定(三脚) 	IEEE1394カメラ 赤外線フィルタ 口径変換アダプタ 望遠レンズ フィルタ・ホルダ 三脚	¥57,000 ¥1,000 ¥3,000 ¥18,000 ¥10,000 ¥6,000
赤外線投影用 ライト部	<ul style="list-style-type: none"> ・赤外線LED(赤外線を放射する) ・ブレッド・ボード ・電子部品(抵抗等) 	赤外線LED ブレッド・ボード 電子部品	¥100 ¥1,000 ¥100
計測プログラム部	<ul style="list-style-type: none"> ・Visual C++.net2003 ・OPEN CVライブラリ(画像のグレイ・スケール化、閾値処理(ある閾値を元に白黒2値の画像に変換する)、瞳孔サイズの計算) 	Visual Studio.NET2003 OpenCV	

(注) 値段はおおよその金額

2-2 赤外線カメラ部

赤外線カメラ部の構成部品の概要は、表1に記載した。各構成部品について選択の過程および構成の参考になる情報について詳述する。通常のカメラではなく、赤外線カメラを利用するのは、眼球表面の反射を避け、撮影用の光による瞳孔の収縮を避けるためである。実際、赤外線を当てると、瞳孔の画像が明瞭に撮影できる。

- IEEE1394カメラ：当初、USBカメラを利用した。しかし以下の理由よりUSBカメラの利用をあきらめた。それは(1)測定プログラムが安定的に動作しない(データの転送速度等に問題があると考えられる)、(2)望遠レンズが接続できず、眼球を大きな画像で捉えられないためであった。

入手したIEEE1394カメラ(アルゴ社, <http://www.argocorp.com/index.htm>より購入, DFK21F04カメラ)は、そのままでは赤外線の入力を減衰する赤外線カット・フィルタがCCDの前についている。このため、瞳孔の輪郭を明確に捉えることができない*。そのため、カメラを分解し、CCDの前にある小さなガラス小片(=赤外線カットフィルタ)を外し、このガラス小片と同じサイズにカットした透明アクリル板を代わりにはめ込んだ。なおこの赤外線カット・フィルタの外し方に関してはインターネット上に多くの情報が載っている。Google等の検索サービスを利用すると詳細が学べる。

- 赤外線フィルタ：富士フィルムのIR-96フィルタを利用した。これは写真撮影用のフィルタであり、カメラ販売店にて購入できる(富士フィルムHP, <http://fujifilm.jp/personal/sheetfilter/index.html>参照)。また望遠レンズの先端に赤外線フィルタを取り付けるフィルタアダプタを利用し、赤外線フィルタをレンズ前部に取り付けた。

* 赤外線カット・フィルタは一般的にカメラの内部についている。前記のUSBカメラ(合計3種類)のいずれにもついていた。

- 口径変換アダプタ：購入したIEEE1394カメラのCマウント規格のレンズ取り付け部へ、ニコン・カメラ用の望遠レンズを装着するために使用した。

- 望遠レンズ：最初は35mmや50mmの単焦点レンズを利用した。しかしレンズと眼の距離を40cmとした場合、得られる眼球画像が小さく、眼球面積の測定値が安定しなかった。また装置の配置を自由にできるためには、ズームのできる望遠レンズが便利だと考えた。そこで200mmまでズームのできる望遠ズームレンズ（シグマ社、28mm-200mm）を利用したところ、適切な画像が得られた。300mmまでズームできる望遠ズームレンズやコンバージョン・レンズ（焦点距離を2倍や3倍にする）も試みに用いてみた。しかし、画像が暗くなりすぎて実用的ではなかった。ズームレンズ選択の際になるべく望遠側のF値が小さい、明るいレンズを選択すべきであろう。ただし、F値の小さいレンズは一般に高価である。

- 三脚：IEEE1394カメラ自体は軽いものである。しかし望遠レンズが重い。そのため、赤外線カメラ部は、三脚への取り付け部分から前のめりになりやすい。しっかりとして重量のある三脚が望まれる。コンパクトカメラ用の三脚よりも、一眼レフカメラ用三脚のうち高さ調整がハンドルにて微調整可能なものが使いやすかった。

2-3 赤外線投影用ライト部

- 赤外線LED：秋月通商より購入した赤外線LEDを使用した。また赤外線の光量を増やすことを目手に赤外線LED56個を使用する赤外線投光器キットも使用した。

- 回路：赤外線を発光するLEDの前に適当な抵抗を挟み込み電池とつないだだけの回路をブレッド・ボード上に作成した。ブレッド・ボードとは、ハンダ付けを必要とせず、使用する電子部品の脚をブレッド・ボード上の穴に差しすることによって簡単な電子回路を作成できる板のことである。ハンダ付け

不要ボード、ソルダーレス・ボードともいう。

●その他：赤外線の光量を増やすことを目的に秋月電子通商の赤外線発光ダイオードを使用した赤外線投光器キットを利用してみた。ズームレンズを利用して暗い画像しか得られない場合には赤外線投光器も有用であった。しかしLED 1個でも眼球に近づけ、焦点距離をなるべく短くすることにより画像の取得は十分可能であった。その際にはなるべくF値の小さな、明るいレンズを使用する必要があるだろう。あまりLEDが多いと発熱が大きいため運用しにくい。また視線トラッキング・システムでは、赤外線の光源が眼球上に映る位置を一つの情報源として、視線を推測している。その点では、LEDの数が少ない方が眼球上の投影位置が明確になり、視線の推測のための計算はしやすいかもしれない。

運用上の難点として、ブレッド・ボード上に回路を作成したため、回路の単純さのわりには外形が大きく、測定時に保持するのが困難であった。実際に心理実験等で利用する際には、回路基盤を小さく、ケースに入れ、保持しやすくするなどの工夫が必要だろう。

2-4 計測プログラム部

●Microsoft社のVisual C++.net2003上で、Intel社の画像処理ライブラリであるOpenCVライブラリ (Intel社HP, <http://www.intel.com/research/mrl/research/opencv/>) を利用した。

プログラムの概略は表2のとおりである。Windows XPを動かしているコンピュータに接続されたIEEE1394カメラから瞳孔の画像を入力し、その瞳孔画像に対して閾値処理を行った。閾値処理をされた画像は、白色と黒色のみに形成された画像となる。そして瞳孔部分を白色に調整し、その瞳孔を示す白色部分がほぼ円になることから、その円部分を囲む最小の大きさの半径を持つ円の半径を出した。

表2 瞳孔サイズ計測プログラムの流れ

順番	機能	操作と結果	利用する関数
1	カメラから画像を取り出す	カメラから画像をキャプチャする。	cvCaptureFromCAM () 関数 cvQueryFrame () 関数
2	瞳孔画像の処理を準備する	画像をグレイ・スケール化する。白黒写真のような画像になる。	cvCvtColor () 関数
3	瞳孔の境目を明確にする	白黒2値の画像に変換する。この時、閾値処理をする。閾値を手動で指定し、境目を明確にしてやる。この操作の結果、黒い背景の中心に白い円がある画像が得られる。この白い円が瞳孔のサイズを反映している。	cvThreshold () 関数
4	瞳孔のサイズを測定する	白い円を囲む最小半径の円を求める。円の半径を表す値が返ってくる。	cvMinEnclosingCircle () 関数

2-5 瞳孔サイズ測定システムの信頼性

本報告において紹介した部品をくみ上げ、調整した瞳孔サイズ計測システムを利用して、(1) 著者の瞳孔サイズの測定、および(2) 白紙に書いた黒い円のサイズの測定(サイズが変化しない)を行った。いずれの場合も、測定値が途中で大きく変化するという測定の信頼性が低下していると思わせる問題はなかった。また(1)の瞳孔サイズの測定時には、瞬目の生起の始まりを正確に捉え、これを反映したサイズを表す数値の変化があった。これは瞳孔サイズの測定がそのまま瞬目反応の測定に利用できる可能性を示唆している。

3. まとめ

本報告は、瞳孔の計測装置を自作することに関する各種の情報のまとめを行ったという位置づけができるだろう。ただ、予算の点から瞳孔計測や視線トラッキングの機器を購入できず、なおかつ工学に関する知識が低く、本格的なシステムを容易には自作できない者にとって、システムを自作する際の

とっかかりの情報にはなると考えている。実際に私自身が高価なシステムを購入できず、さらに瞳孔計測や視線トラッキングの専門分野の論文を目にしても、どこから手をつけて良いか見当がつかなかった。そのような点では心理学の教育を受けてきた者にとって馴染みやすい報告ではないだろうか。

本システムの利点は、表1の各部品合計金額約10万円に現れている安価な点である。百万円単位で発売されている既存のシステムに比べると安い。ただし本報告のシステムは測定の信頼性や妥当性に関しての検証を本格的に行っていないという欠点はある。ゆえに今後、本システムによる測定の信頼性、妥当性に関する検討が望まれる。また、OpenCVライブラリを利用してCやC++言語のコンピュータ・プログラムに瞳孔画像の情報を利用することができる点は、便利であろう。特にOpenCVは各種の情報がインターネット上に多く存在し、行いたいことが容易に調べられる。

測定の信頼性に問題に関する今後の検討と共に、瞳孔画像と赤外線投影元の眼球への写り込みを利用した視線のトラッキング・システムに関する安価な開発も今後期待できる。

4. 引用文献および参照情報

文献

- Li, D., and Parkhurst, D.J. 2006 openEyes: An open-hardware open-source system for low-cost eye tracking, *Journal of Modern Optics*, 53 (9), 1295-1311. (Iowa State University Human and Computer Vision Lab (<http://hcvl.hci.iastate.edu/cgi-bin/cveyetracker.cgi>) にプログラム・コードなどの詳細が載っている)
- 松永 勝也 1990 瞳孔運動の心理学 ナカニシヤ出版
- 清水康敬・近藤俊一・前迫孝憲・熊谷龍 1987 瞳孔面積測定装置の開発と心理的変化に関する一検討 *日本教育工学雑誌*, 11, 25-33

ホームページ

- 秋月電子通商 <http://akizukidenshi.com/>
- アルゴ社 <http://www.argocorp.com/index.htm>