

瞳孔反応による感性情報処理システム構築のための基礎的研究

A Fundamental Study for the Sensibility Information Processing with Pupillary Reaction

黒川 敦* 松本三紀雄** 谷本 都栄* 福岡 孝純***

Atushi KUROKAWA* Mikio MATSUMOTO** Toe TANIMOTO* Takazumi FUKUOKA***

1. はじめに

造園分野では、景観や材料などの写真の提示や対象地に被験者を伴ってのアンケート調査を行うことが多い。このような資料提示による被験者の情緒・心理の変化(情動)を測定するための方法として、感性情報処理の一手法であるSD法がよく用いられる。しかし情緒の測定を目的としているため実験には繊細さが必要とされ、方法の運用には、被験者間で形容詞の受け取り方に違いが存在すること、対象以外の環境が影響しやすくまたこの程度を判定しにくいこと、さらには意図的な虚偽の回答の余地を含んでいること、等の問題がある。

現在、心理的变化が自律神経系に及ぼす影響を間接的に測定する方法としては、心拍数、血圧、GSR(皮膚電気反射)、脳波、血中アドレナリン濃度等による測定が存在する。しかし心拍数や血圧は刺激提示から反応までのタイムラグが大きく、GSRや脳波は即応性の点では優れているものの電氣的雑音の影響が大きくその測定条件が限定されると共に測定機器自体が極めて高価である。また血中アドレナリン濃度測定は侵襲的で被験者への負担が大きい上に短いタイムスパンでの測定には不向きである。以上のようにこれらの測定方法は自律神経の状態の把握に焦点を絞った場合にその使用に際しては何らかの制約を受けるのが現状である。

そこで筆者らは、瞳孔反応を利用した即応性、非侵襲性、簡易性、経済性に優れたカメラによる動画撮影を用いた瞳孔径の経時的変化の分析可能な瞳孔径測定器を作成した。本測定法は主観的な意図を完全に排除できる客観的な生理指標に基づいた心理的变化の測定を可能とするもので、視線追尾システムと組み合わせた刺激対象の特定可能な感性情報処理システムの構築を最終目標としている。この測定方法が確立できれば瞳孔径の経時的変化の分析は上記課題の解決に十分有効であると考えられる。

心理的变化に伴う自律神経の状態が瞳孔径に反映し、交感神経優位で散瞳し、副交感神経優位で縮瞳することは心理学や医学の分野では古くから知られている。この瞳孔反応はタイムラグが極めて小さく即応性に優れており、これまでもアルツハイマー病など脳機能の障害診断に用いた研究¹⁾、ストレス負荷を定量的に推定した研究²⁾、

情動解析を試みた研究³⁾等で用いられてきている。

これまでの研究で用いてきた瞳孔径の測定機器には眼科を中心とした診療・診察用に開発されたイリスコーダがあり、最近では一部のアイカメラにも同機能を組み込んだ製品が市販されるようになってきたがいずれも高価なものであり、特にイリスコーダは機器自体も大きく、センサーが両眼を覆うことからフィールドワークでの景観評価には適さない。またこの他に網膜電図によるもの⁴⁾もあるが、瞼と眼球の間への電極の挿入は被験者への負担が多いためである。

本研究では、最終的な景観評価を考慮して両眼視が可能であり、携帯性に優れてフィールドワークでの測定に適し、測定時の被験者への負担が少ない方法としてカメラによる瞳孔撮影法を採用した。特に最近ではパーソナルコンピュータ(以下PCとする)用にCMOSセンサーを用いた安価な小型のPCカメラが市販されており、また近年のCPU性能の向上はその高速な画像処理を可能とし、データの収集およびその解析がPCレベルでも容易となったことから極めて安価な機器の開発が可能となった。

ところで、瞳孔反応には心理的变化によるものと対光瞳孔反応によるものとふたつがある。著者らの最終的な目標である景観評価を考慮した場合、その多様な景観に対する心理的な瞳孔変化の抽出には対光瞳孔反応による瞳孔変化を除外する必要がある、そのためには光量変化に伴う対光瞳孔反応の閾値を明らかにすることが必要不可欠となる。

そこで本研究では、本測定法による光量変化に伴う対光瞳孔反応の閾値について追究すると共に、聴覚刺激を用いた驚愕の心理的变化に伴う瞳孔反応の測定から本測定法による心理的な瞳孔変化の測定可能性についても追究をおこなった。

2. 実験方法

(1) システム構成

瞳孔径測定には、CMOSセンサーを使用したサンワサプライ社製PCカメラ(CMS-V11)を一部改良し、視線を遮らないように動画(AVI形式)を撮影してPCによって画像解析をおこなった。瞳孔の特定には、赤外線LED(シャープ社製GL537)による赤外線照射画像によって瞳孔を抽出し

*東京農業大学大学院

**法政大学

***東京農業大学

*Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture

**Housei University

***Tokyo University of Agriculture

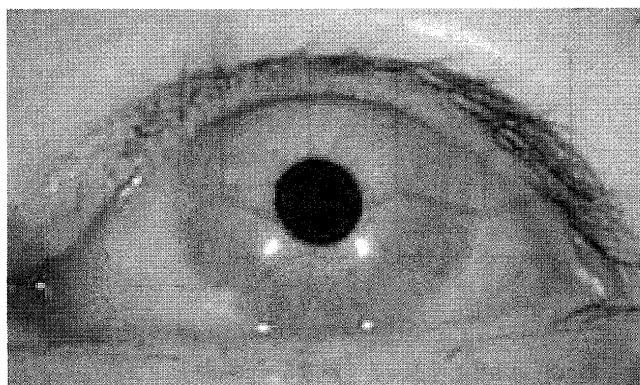


写真-1 赤外線照射画像

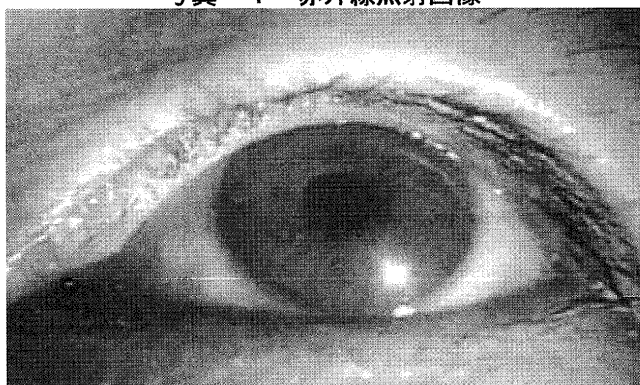
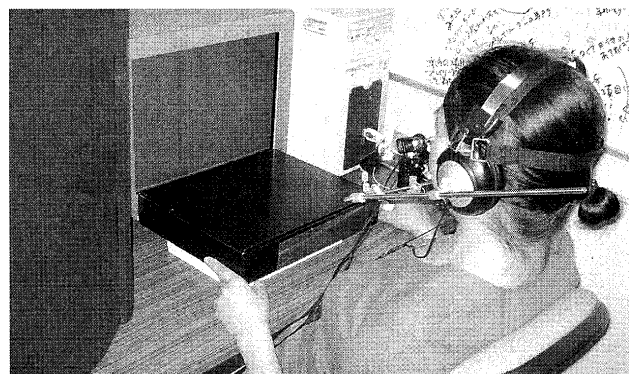


写真-2 可視光下の画像

た。これは、赤外線を完全吸収する瞳孔以外は赤外線の反射率が高く(写真-1)、可視光下の画像(写真-2)よりも赤外線下の画像の方が瞳孔の特定が容易となるためである。

瞳孔径測定器の全体像を写真-3に示した。本装置ではヘッドホーンにL字型のアルミ製中空パイプを装着し、その先端にカメラと赤外線LEDを設置して眼前下方より撮影をおこなった。

実験用の刺激画像提示、撮影および解析は筆者らがMicrosoft Visual BASIC6.0、Microsoft Visual C++6.0、Delphi5により専用ソフトを開発して実施した。撮影画像の最大サンプリング周波数は30Hzであった。


写真-3 本システムの全体構成
表-1 対光瞳孔反応実験刺激画像

	Base	刺激 1	刺激 2	刺激 3	刺激 4	刺激 5
画像提示時間	3 秒	2 秒	2 秒	2 秒	2 秒	2 秒
R G B 値※	0/255	2/255	4/255	6/255	8/255	10/255
CRT 輝度 (cd/m ²)	1.42	1.46	1.49	1.55	1.59	1.64

※: R値、G値、B値は各値共通
使用したPCは、WindowsXP Professional、Intel Pentium4:3.06GH、メモリ:512Mであった。

(2) 瞳孔径算出のアルゴリズム

はじめに撮影した動画を画像に分解した。次に得られた画像中における瞳孔の特定には、瞳孔部分の画像RGB値を手動で取得し、ピクセル毎のRGB値を水平方向に走査して瞳孔に該当するRGB値の水平方向成分を抽出した。この水平方向に連続した瞳孔を構成するピクセル群の中から水平方向に最長のピクセル数を瞳孔径として算出した。

(3) 被験者

被験者は東京農業大学の造園科学科の学生を対象とし、色弱等の視覚障害のない任意に選んだ19歳から28歳までの男子3名、女子7名の計10名であった。

(4) 実験環境

測定環境は通常の事務作業環境を考慮し、窓からの太

表-2 対光瞳孔反応としての瞳孔径の推移

	Base1	刺激 1	Base2	刺激 2	Base3	刺激 3	Base4	刺激 4	Base5	刺激 5	Base6
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
m	59.83	59.97	60.51	59.57	60.62	58.97	59.75	58.08	59.45	57.04	59.10
SD	7.91	8.12	8.10	8.88	8.71	9.10	8.70	8.69	8.29	8.20	8.20

表-3 LSD 法による多重比較の結果

	刺激 1	Base2	刺激 2	Base3	刺激 3	Base4	刺激 4	Base5	刺激 5	Base6
Base1	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.	*	n. s.
刺激 1		n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.	*	n. s.
Base2			n. s.	n. s.	*	n. s.	*	n. s.	*	*
刺激 2				n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.	*	n. s.
Base3					*	n. s.	*	n. s.	*	*
刺激 3						n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.
Base4							*	n. s.	*	n. s.
刺激 4								*	n. s.	n. s.
Base5									*	n. s.
刺激 5										*

*: $p < 0.05$

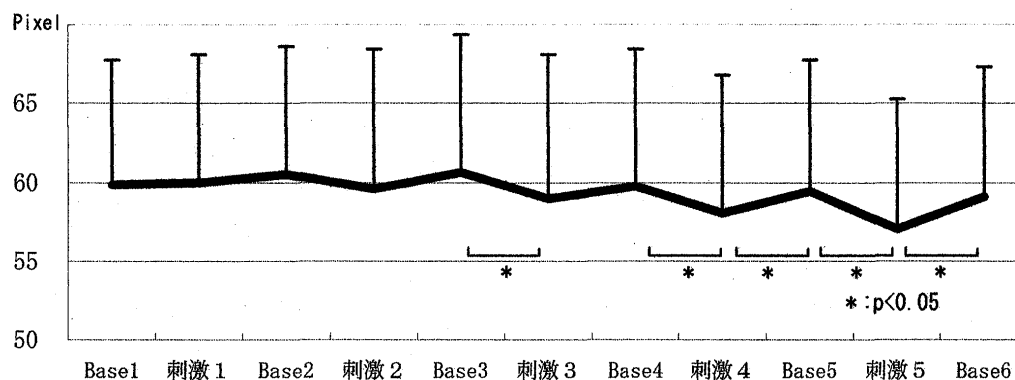


図-1 対光による瞳孔変化

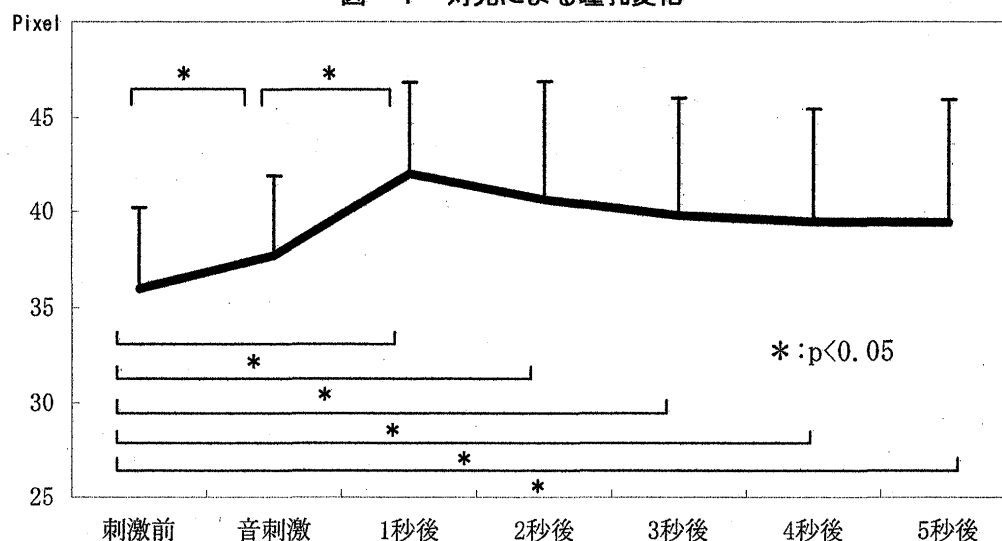


図-2 心理的变化に伴う瞳孔の変化

陽光の変化を排除した蛍光灯の点灯下でおこなった。画像提示をおこなったPCのキーボード上とCRT画面中心の照度は各々288luxと139luxであった。なお、測定に先立って被験者には実験環境と同じ明るさの環境で15分以上待機させることで光順応をおこなわせた。

また周囲からの音情報による心理的影響を排除するために被験者にはヘッドホーンを通じてピンクノイズを与えた。

CRTは三菱社製RDF173Hを用い、画面と被験者の眼までの距離は40cmに固定した。CRT画面の水平視野角は79°、上下視野角は63°であった。また、CRTのRGB値0/255と255/255における輝度(鏡面反射輝度を含む)は各々1.42cd/m²と29.30cd/m²であった。

(5) 「対光瞳孔反応」測定

対光瞳孔反応の測定に用いた刺激画像の輝度および画像提示時間を表1に示した。色による心理的な影響を排除するために刺激画像の色はRGBの各値同値のグレイとした。対光瞳孔反応の測定では輝度差による瞳孔反応を捉えると共に、対光瞳孔反応が生ずる最小輝度差(閾値)の把握も目的とした。予備実験よりBase画像RGB値0/255に対して刺激画像RGB値10/255で対光瞳孔反応が生ずることが確認できたので、Base画像RGB値0/255に対するRGB値は2/255から10/255の5個の刺激画像を用いた。

また、単調な画像の注視は心理的疲労を招きやすく、

副交感神経優位へと移行しやすいことから測定時間は30秒以内とし、3秒間のBase画像を間に挟み刺激1から刺激5の刺激画像提示は各々2秒間とした。全測定時間は28秒で、被験者にはその間にCRT画面中心を注視し続けた。

(6) 「心理的变化による瞳孔反応」測定

心理的变化に伴う瞳孔反応の測定では、交感神経がより優位となる環境として音刺激を採用した。音刺激には、PCの最大音量で1,000Hzの正弦波を利用した。本測定にあたっては、対光瞳孔反応を排除する目的から、PCによる一般的なアプリケーションソフトの作業画面を想定したRGB値200/255の比較的明るい画面(グレイ)を注視させ、3秒後に予告なしに0.5秒間の音刺激を与え、以降5秒間の観察をおこなった。

3. 結果・考察

(1) 「対光瞳孔反応」

対光瞳孔反応における各刺激画像の瞳孔径(Pixel)の平均値を表2に示した。分散分析の結果、条件の効果は有意であった($F(10, 90)=4.65, p<0.01$)。LSD法による多重比較(Mse=2.35、5%水準)の結果を表3に示した。

また瞳孔径平均値の推移を図1に示した。図中にはLSD法による隣り合う各条件間の多重比較の結果のみを示した。

対光瞳孔反応ではBase3画像(1.42 cd/m²)と刺激3(1.55 cd/m²)との間で初めて有意な差が認められ、刺激4以降においては全ての条件前後間に有意差が認められた。この結果は、本測定法が対光瞳孔反応を的確に捉えることを示したものであり、さらに1.42 cd/m²の輝度に対する瞳孔反応が生ずる閾値が1.55 cd/m²から1.59 cd/m²の間に存在することを捉えることができた。これらの結果は、本実験の対光瞳孔反応が既存の研究⁴⁾との近似を示しており、本システムの妥当性を示すものである。

さらに、Base1からBase6の全Base画像間で有意差が認められなかったことから、瞳孔は刺激画像提示の後に刺激画像提示前の状態まで回復したことを示すものであり、本実験による2秒間の刺激画像提示と3秒間のBase画像提示の妥当性を示したものである。

(2) 「心理的变化による瞳孔反応」

心理的变化に伴う瞳孔反応の測定結果の平均値を表4に示した。音刺激提示後の推移を把握するために音刺激提示後1秒間毎に平均値を求めた。分散分析の結果、条件の効果は有意であった($F(6, 54)=11.07, p<0.01$)。LSD法による多重比較(Mse=3.46、5%水準)の結果を表5に示した。

また瞳孔径平均値の推移を図2に示した。図中にはLSD法による隣り合う各条件間およびRestと各条件間との多重比較の結果を示した。

Rest時と比較して音刺激1秒後から音刺激5秒後まで全て有意な差が認められたことから、音刺激によって直ちに散瞳が起こったことが確認された。また、音刺激2秒後には更に散瞳が進み、音刺激1秒後と比較して音刺激3秒後、音刺激4秒後、音刺激5秒後に於いては平均値が有意に減少したことから、音刺激2秒後以降は縮瞳へと移行したことが確認された。しかし音刺激後の5秒後では瞳孔径はRestの状態にまでは戻っておらず、本実験で用いた音刺激は5秒間以上に及んで散瞳をもたらす刺激条件であったことを示すものである。

本測定結果は、音刺激に伴う被験者の心理的動揺が交感神経の優位性を高め、それによって散瞳へのシフトをもたらしたものと推察される。このことは、本システムが

表-4 心理的变化に伴う瞳孔径の推移

	Rest	刺激音	1秒後	2秒後	3秒後	4秒後	5秒後
n	10	10	10	10	10	10	10
m	35.97	37.68	42.00	40.61	39.77	39.48	39.43
SD	4.24	4.22	4.85	6.29	6.27	5.99	6.52

表-5 LSD法による多重比較の結果

	音刺激	1秒後	2秒後	3秒後	4秒後	5秒後
Rest	*	*	*	*	*	*
音刺激		*	*	*	*	*
1秒後			n. s.	*	*	*
2秒後				n. s.	n. s.	n. s.
3秒後					n. s.	n. s.
4秒後						n. s.

*: $p<0.05$

自律神経系の変容を伴う心理的变化を捉えることが可能であることを示唆するものであり、主観的な意図を完全に排除した生理指標を用いたより客観性に優れた感性情報システム構築への可能性が示されたものと解釈される。

4. まとめ

本研究における対光瞳孔反応の測定から、筆者らが開発した瞳孔径測定システムが瞳孔測定に有効であることが確認できた。また測定対象となる視覚情報の必要条件である対光瞳孔反応の閾値を捉えることができた。さらに、心理的变化による瞳孔反応の測定結果から、本瞳孔径測定システムにおいて自律神経系の変容を伴う心理的变化を捉えることが可能であることが示唆された。これらの結果を得たことにより、主観的な意図を完全に排除した生理指標に基づいたより客観性に優れた感性情報システム構築への可能性が示されると共に、そのための基礎データを収集することができた。

5. 今後の展開

動画中の各画像の取得時間をms単位で記録することで、瞳孔径の変化を基準化し、詳細に分析できるようにしたい。また、画像の空間分解能の増加と、取得間隔の短縮を目標として、コンピュータに負荷をかけないような分析方法の研究も予定している。

使用想定場所を考慮し、野外に持ち運べるように小型ノートパソコンを用いた、「持ち運べるシステム」への要件も考慮中である。

視覚対象を正確に把握するために、視線追尾システムの導入を検討している。

引用・参考文献

- 1) 村上宗司・鈴木健之・福島省吾・仲島了治(松下電工)・SHI X・GUO I・内山尚志・福本一朗(長岡技科大)(2001): 瞳孔対光反応および眼球運動計測向け軽量型機器開発とそのアルツハイマー型痴呆症検査への応用: 生体・生理工学シンポジウム論文集 16th, 17-18
- 2) 野村幸弘・星野聖(琉球大)(1998): ストレスの瞳孔動揺に及ぼす影響: 映像情報メディア学会技術報告 22(32(HIR 98 60-65)), 7-11
- 3) 加藤綾子・福井康裕(東京電機大)・福井裕輝(京大大学院)(2004): 情動解析のための実験システムの開発とその応用: 東京電機大学フロンティア共同研究センター 2003年度研究成果報告書, 19-20
- 4) 山本修一ほか編(2004): ERG, メジカルビュー社
- 5) 森谷きよし・新田裕子(北大)(1995): 芳香の保養効果: 日本生気象学会雑誌 32(4), 125-134
- 6) 仲村匡司・増田稔(京大大学院)(2000): 住宅内装画像における木材領域の自動抽出(第2報) 主観的木材率および学生居室の木材率: 木材学会誌 46(6), 566-572
- 7) 宮崎良文(森林総研)・本橋豊(東京医歯大)・小林茂雄(共立女大)(1992): 精油の吸入による気分の変化(第1報) 瞳孔光反射・作業能率・官能評価・感情プロフィール検査に及ぼす影響: 木材学会誌 38(10), 903-908