

主成分分析と成分推定法による瞳孔対光反応の解析

鶴飼一彦・福原雅之・小町祐子・土屋邦彦

北里大学 医学部 眼科

〒228 相模原市北里1-15-1

1. はじめに

Youngら^{1, 2)}は、瞳孔の色・光刺激に対する反応を主成分分析により解析した結果、瞳孔反応をsustained (S) とtransient (T) の二つの成分にきれいに分離し、それぞれ視覚系のP, M経路に相当すると報告した。われわれもすでに対光反応の波形が刺激強度により変形していくことから、光強度に対して異なった特性を持つ二つ以上の波形の線形和で対光反応が表わされることを示唆している³⁾。今回は、この時のデータを用いてYoungらと同様の主成分分析を行ない、次に波形分離の方法として分光スペクトルの分離のために提案されている方法を使用し、結果として、Youngらの報告をおおむね肯定しながらも、いくつかの新知見を得たので報告する。

2. 方法

データは双眼イリスコーダ (ハママツホトニクス) を用い、右眼に刺激を行なったときの共感性対光反応を左眼より記録した。刺激はマクスウェル視で、強度は3000 Td、これに種々の濃度のニュートラルデンシティ (ND) フィルターを重ねることにより刺激光の強さを調整した (10種類)。刺激時間は5秒間である。手順としては30分の暗順応後、各刺激に対し18回の測定を行なった。刺激の間隔は最小5分とした。イリスコーダのデータは刺激前1秒間、刺激中5秒間、刺激後5秒間の計11秒間、サンプリング間隔1/60秒でディスクに記録される。記録されたデータは平均処理 (18回分) などを行ない、解析用の原データとした。こま

1993年夏期研究会 (7月27日) ポスター

ではすでに報告している³⁾。解析は異なった比率で混合されている物質の分光スペクトルから各物質の分光スペクトルを分離するために作成されたソフトウェア^{4, 5)}の市販バージョン (システムクラフト: SaR科学計測システム・スペクトル分離) を用いパソコン (PC-9801) で実行した。なお、原データでは刺激光オンセット時の瞳孔面積を基準とし、そこから減少した面積をプラス方向にとっている。

3. 結果

解析用の原データを図1に示す。主成分分析の結果得られた固有値では成分数は1で充分なように思われた。しかし、原波形を表現するには2以上の成分が期待される。そこで、成分数を2, 3としたときの波形分離を行なった。図2に成分を2としたときの分離波形を示す。成分を3としたときには、うち2つの波形が近接しており、あまり意味のない分離を行なっているようである。分離された波形も生理的に知られている波形と隔絶している。一方、図2の二つの成分は、それぞれS, Tと呼ぶに値する時間経過を示している。よって、今回の波形は二つに分離するのが適切であると思われる。図3に2成分がそれぞれどのくらいの割合で混合して原データを形成しているか、を示す。

4. 考察

図3は、S, T各成分の、刺激輝度依存性を示す。T成分が、比較的暗い領域から反応するのに対し、S成分は一定の輝度レベル (錐体レベル) に達しないと反応しないことを示し、生理学的に明らかになっているこれら系の特性と

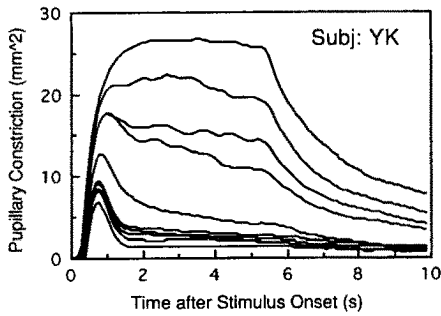


図1 対光反応曲線

よく一致する。その他、得られた結果は全体として、Youngらの報告を追認する形となった。しかしながら、今回次の2点が新たな知見として得られた。

1) S波形に混入する刺激直後の小ピークは、T波形の刺激の強い領域であらわれる強度依存の非線形成分と思われる。刺激強度が強くなると潜時が減少するという現象に相当する。刺激強度依存性が、TよりもSに近く、S側にノイズとしてあらわれた。

2) Youngらの解析は、主成分分析(この分析自体は独立な成分の数を推定するのに役立つのみ)のあと、相互相関関係を用いて波形分離を行なっている。そのため、どこか一箇所どちらかの成分が0の場所を仮定しないと解析が出来ない。彼らは光刺激off時のT成分を0とした。今回の解析では、得られた波形自体は彼らの報告と近いが、T成分のこの部分は0とならず比較的長く継続していることが判明した。波形は求心路のみならず遠心路や末梢の特性をも反映するためと考えられる。

また、瞳孔に対するパターン刺激で、一過性の縮瞳と定常的な瞳孔サイズの両者が異なった空間特性を示すという Ukai の報告⁶⁾も、一過性の縮瞳がT系であり大きなパターンに反応し、定常的な瞳孔サイズはS系の支配を受け、細かなパターンにも反応すると解釈すれば、説明がつく。

5. むすび

Youngらの報告は、瞳孔の視覚路に関する研究を飛躍的に高める可能性を持っている。しかしながら、彼らの用いた方法は多大な手間を要

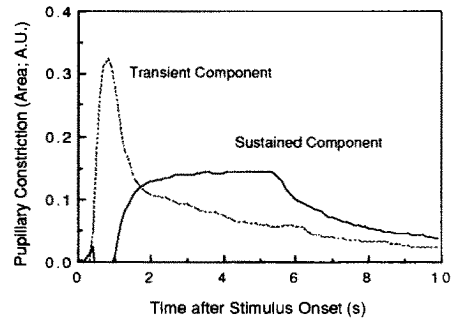


図2 固有値を二つとったときの分離された波形

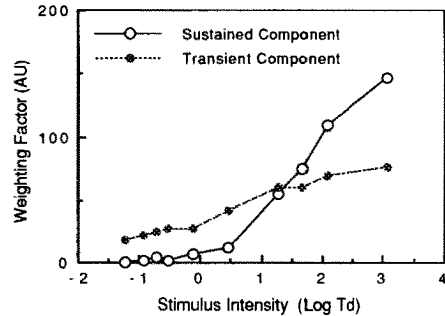


図3 二つに分離された波形が、各対光反応曲線にどのくらいの割合で含まれているかを示す図

する割に最適化されているとは言い難い。今回示した方法は、自動化されているため手間は少なく、また、最適化が行なわれるため、彼らの考え方を実行に移す上で有力な方法となろう。

文 献

- 1) R. S. L. Young, B.-C. Han and P.-Y. Wu: Transient and sustained components of the pupillary responses evoked by luminance and color. *Vision Research*, 33, 437-446, 1993.
- 2) 木村英司：ラボック便り. *Vision*, 5, 139-144, 1993.
- 3) 福原雅之, 土屋邦彦, 小町祐子, 難波龍人, 鶴飼一彦, 青木 繁, 石川 哲: 対光反応の構成成分についての検討. 第97回日本眼科学会, 1993.
- 4) K. Sasaki, S. Kawata and S. Minami: Constrained nonlinear method for estimating component spectra from multicomponent mixtures. *Applied Optics*, 22, 3599-3603, 1983.
- 5) K. Sasaki, S. Kawata and S. Minami: Estimation of component spectra curves from unknown mixture spectra. *Applied Optics*, 23, 1955-1959, 1984.
- 6) K. Ukai: Spatial pattern as a stimulus to the pupillary system. *Journal of the Optical Society of America*, A2, 1094-1100, 1984.