

## 音方向弁別時の瞳孔運動

松永, 勝也

熊谷, 陽子

福田, 恭介

船津, 孝行

<https://doi.org/10.15017/2328610>

---

出版情報 : 哲學年報. 40, pp.133-143, 1981-03-31. 九州大学文学部  
バージョン :  
権利関係 :

## 音方向弁別時の瞳孔運動

松永勝也 熊谷陽子  
福田恭介 船津孝行

### 1 はじめに

瞳孔を形成する虹彩は自律神経に支配され、またその運動は大脳皮質からの影響も受ける。瞳孔の大きさはそれらの活動に伴って微妙に変化する。

ところで、脳の活動電位を加算平均する電子装置が普及し、各種感覚刺激による誘発電位、CNV、事象に関連した脳電位などが記録され、多くの論文が発表されている。Picton ら (1976) は聴刺激と関連した誘発電位についての研究をまとめている。55dB, 60dB のクリックを与え、256回、1024回、2048回の加算で、誘発電位の振幅がピークに達するまでの時間がおよそ数ミリ秒の成分である初期成分、8ms から 50ms 以内の中潜時成分と、50~60dB, 1kHz のトーン・バーストを与えたときの長潜時成分 (ピークまでの時間がおよそ 50ms から 250ms 以内)、連続音を提示すると、 $N_1$ - $P_2$ - $N_2$  が結合し、その後陰性の基線変動が続き、さらに音の提示終了時の  $N_1$ - $P_2$  類似の波について報告している。事象関連電位、とりわけ  $P_3$  はトリガー刺激の物理的特性とは独立で、被験者の刺激に対する注意 attentiveness, 期待 expectancies または意志決定 decision making を反映すると考えられている。CNV は警告刺激に続いて、知覚または運動行為の前に生じる基線の陰性変動で、注意の量によって変化するといわれている。

Hakerem と Sutton (1966) は閾値強度の光の検出作業の際の瞳孔径の変化を測定し、刺激提示のために被験者がスイッチを押すことでも散瞳するのを見出した。言語報告条件ではスイッチ押し後も散瞳が続行するが、非報告条件では、報告条件より散瞳の程度は小さかった。このことから瞳孔は覚醒水準のちがいを反映していると考えた。50% 正答できるような光検出作業では、光

が見えたとき、かつ被験者がそれを報告したときのみ顕著に散瞳したという。

Friedman ら (1973) は、種々の確率で発生する刺激を提示し、提示する刺激を被験者に前もって知らせる条件 (確定 certain 条件) と刺激を提示する確率しか知らせない条件 (不確定 uncertain 条件) で瞳孔変化と誘発電位を測定した。不確定条件では、刺激を出すためのボタン押しの後より徐々に散大し、2秒後に刺激が出現した後の 1200ms 付近で最大となった。誘発電位では  $P_3$  が最大となったという。確定条件では、不確定条件におけるような瞳孔径の増大は示されていない。また  $P_3$  の存在は認められるも、不確定条件におけるように顕著ではない。

Westphal, C. (1863) は耳の近くで叫声を発すると瞳孔が散大するのを見出した。Cemach (1920) によれば、瞳孔は音響刺激に応じて一旦縮瞳し、つづいて散瞳する。この反応の出現率は成人で50%であるという。三宅 (1936) は 75dB の雑音で健康成人について瞳孔反応を調べ、63%の人に反応が認められたと報告している。

Hakerem ら (1966), Friedman ら (1973) の研究を除くと、いずれの研究においても瞳孔の測定は1秒間に数回以下で、誘発電位、CNVの研究に見られるような時間的に密度の高い資料は示されていない。また Hakerem ら (1966), Friedman ら (1973) の瞳孔反応の加算平均の記録例には、音やボタン押しによる誘発反応がわずかしか認められない。われわれのこれまでの研究から、瞳孔はこれらに敏感に反応していることが予測された。そこでわれわれは、デジタル型電子装置による加算平均によって、誘発電位等の研究にみられるように、情報処理時の瞳孔運動を敏感に、かつ時間的に高密度に観察することを主目的として以下の研究を行なった。

## 2 方 法

**刺激**：被験者に注意状態を生起させ、かつ情報処理負荷を与えるために、次のような空間的、時間的な組み合わせの課題音を提示した (図1)。課題音は88 dB SPL, 1000Hz のサイン波の 0.1 秒持続のバースト音で、0.2秒の休止期間

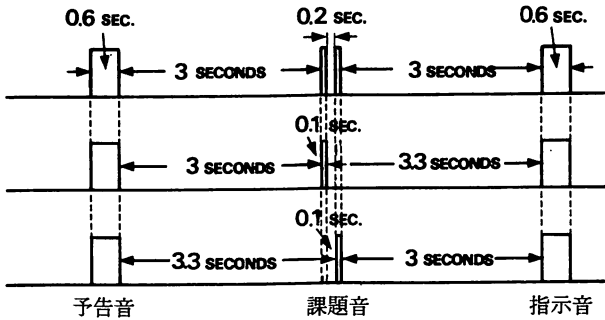


図 1. 一試行を形成する提示音の時間関係。くわしくは本文をみよ。

を置いて 2 回提示した。この 2 つの トーン・バーストは、(1)両トーン・バーストとも左耳に、(2)両トーン・バーストとも右耳に、(3)時間的に早く提示される トーン・バーストを第 1 トーン・バースト、遅く提示される方を第 2 トーン・バーストとすれば、第 1 トーン・バーストを左耳に、第 2 トーン・バーストを右耳に、(4)第 1 トーン・バーストを右耳に、第 2 トーン・バーストを左耳に、の 4 通りの仕方でも提示した。なお課題音の提示 3 秒前と 3 秒後にそれぞれ予告音、指示音として、88dB SPL 1000 Hz の純音を 0.6 秒間提示した。

**被験者の反応：**被験者は、2 つの トーン・バーストが左、または右耳のいずれかの方向のみに音が聴えたと判断した場合（音方向が同一）は指示音が提示されたときに反作用のスイッチ・レバーを左に、2 つの トーン・バーストがそれぞれ左、右のどちらかに別々に聞えた場合（音方向が異）は指示音が提示されたときにスイッチレバーを右に倒すように、被験者に要求した。

**被験者：**被験者は視機能、聴機能が健常な大学生と大学院生 7 名で、年齢範囲は 20～28 歳であった。

**装置：**瞳孔の直径は赤外電子走直型瞳孔計 (Funatsu ら, 1973; Matsunaga, 1973) によって測定した。瞳孔計の出力信号をデータ・レコーダ (TEAC: R-60) に記録し、測定終了後、信号処理装置 (三栄シグナル・プロセッサ: 7T07A) に入力し、加算平均した。

音は前もって録音しておいたものをヘッドフォンによって提示した。

手続き：被験者は、薄暗い実験室（被験者位置で眼前の輝度は 0.25 ft-L）で約 5 分間順応した後、瞳孔計の顔面固定器に顔を固定し、顔前 150cm にある 7 セグメント赤色発光ダイオード (a,b,g,f セグメントのみ点灯、輝度は 0.3 ft-L) による固視票を凝視した。瞳孔計の調節が済むと、瞳孔径の計測、記録を開始した。瞳孔径の計測は、1) 提示される各音を受容するのみで、弁別判断を行なわない（コントロール条件；グラフ中では C と省略）と、2) 第 1 と第 2 の課題音が左右別々に提示された場合はスイッチ・レバーを右に、2 音とも左右のどちらかのみ提示された場合はレバーを左に、指示音が聞えたらなるべく早くレバーを押す作業をする（実験条件：E）の 2 つの条件で行なった。順序効果を相殺するために、C.E.E.C という順序で計測を行なった。各条件は 20 試行（20 回加算）で、各条件の測定間には 3 分間の休憩を置いた。

測定結果の処理：データ・レコーダに記録された測定結果は、予告音の立ち上りをトリガーとして、20 回の加算処理をした。加算平均した瞳孔運動曲線より図 2 に示すように、予告音、課題音、指示音によって誘発された変動について、それぞれ変動の最大値（散瞳方向の山の頂）とその前にある最小値（縮瞳方向の谷の底）との間の差（最大反応量：PR）、予告音によって誘発された反応の最大部を基準として、課題音と指示音によって誘発された反応の最大部の水準（ピーク・レベル：PL）、音を提示してからそれぞれの最大値にいたるまでの時間（最大反応時間：PT）を求めた。

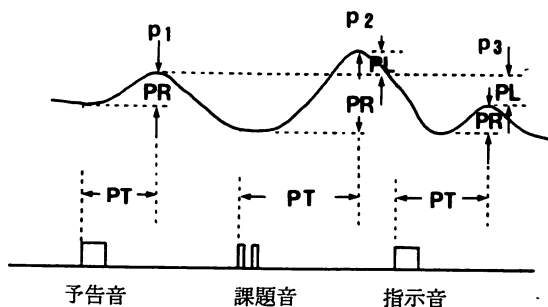


図 2. 最大反応量 (PR) と予告音による反応の最大部 (P1) を基準にした P2, P3 の水準 (PL), 音を提示してから最大部までの時間 (PT) の求め方。

## 3 結 果

加算処理を行う前の瞳孔運動の記録例を図3に示す。図において1は時間指

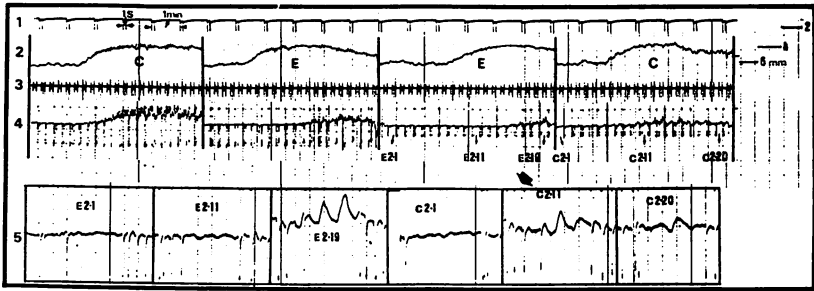


図3. 2人の被験者についての瞳孔運動の記録例。3, 4, 5にみられる鋭いスパイク状のパルスはまばたきによるものである。

標で、1分ごとに1秒間の紙送り速度が示されている。3は、提示音の表示で、予告音、課題音、指示音に対応する3つのパルスが一群となったパルス列となっている。2は被験者K.F.(27歳, 男)の瞳孔運動図である。瞳孔径のスケールを右方に示す。図の上方へ直径は小さくなる。4は被験者S.O.(21歳, 女)の瞳孔運動図である。いずれの被験者においても、測定の初めの方は、自発動揺はそれほどではないが、測定の中途(測定開始1~4分後)より、0.2~0.3Hzの規則的な動揺が多くなり、直径も小さくなる。約3分間の休憩を置くとこの動揺は少なくなり、直径も測定初頭時の大きさととなる。図4は、無刺激

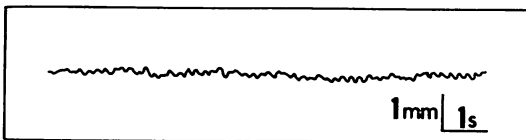


図4. 無刺激時の瞳孔運動の20回加算。

状況下での瞳孔記録を20回加算したものである。この瞳孔の自発動揺は20回の加算平均で目立たない位に消去されている。なおこの加算のための記録時間は約4分で、実験条件に比べると短い。そのため時間とともに縮瞳する傾向は認

められない。図3の5は、被験者 S.O. の瞳孔記録（図3の4）の矢印で示した部分について、時間軸を10倍に拡大してペン・レコーダに描かせたものである。自発動揺の出現の様子が部分によって異っているのが良くわかる。また、コントロール（C）条件では、一試行内で時間経過とともに瞳孔径が小さくなっていくのが認められるが、実験（E）条件では、その傾向は小さい。図5に被験者7名についての加算結果を示す。図において、Cはコントロール条件、Eは

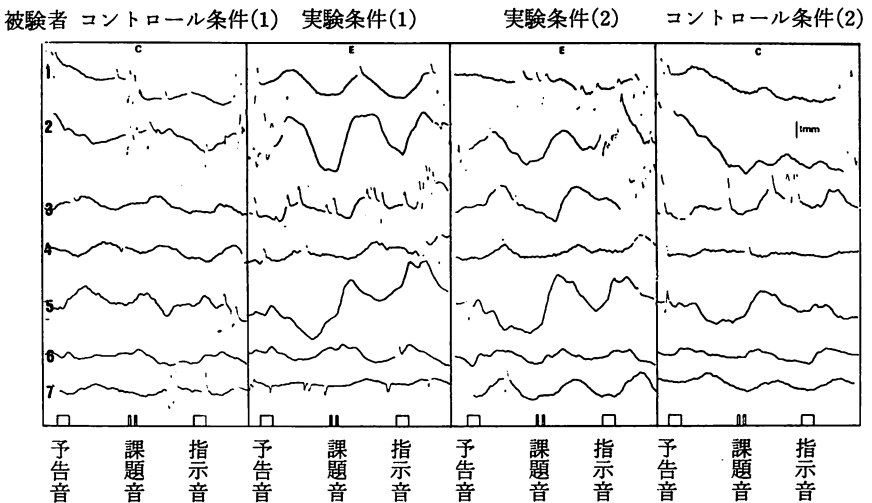


図5. 7名の被験者についての加算結果。

実験条件についての結果であることを意味している。これらの図をみると、反応の大きさに個人差が著しいながらも、反応の型には一貫した傾向が認められる。コントロール条件（C）における瞳孔径の変化を見ると、提示音によって散瞳が誘発されているようにも見えるが、顕著ではない。これに比べると、実験条件下での散瞳は顕著である。図6は、7名について加算平均曲線より求めた最大反応量（PR）の平均値をグラフにしたものである。課題音と指示音によって誘発された反応（P2とP3）の最大値（PR）は、コントロール条件におけるより実験条件において大であった（ $p < 0.001$ ）。予告音によって誘発された反応（P1）の最大値（PR）については、コントロール条件と実験条件の

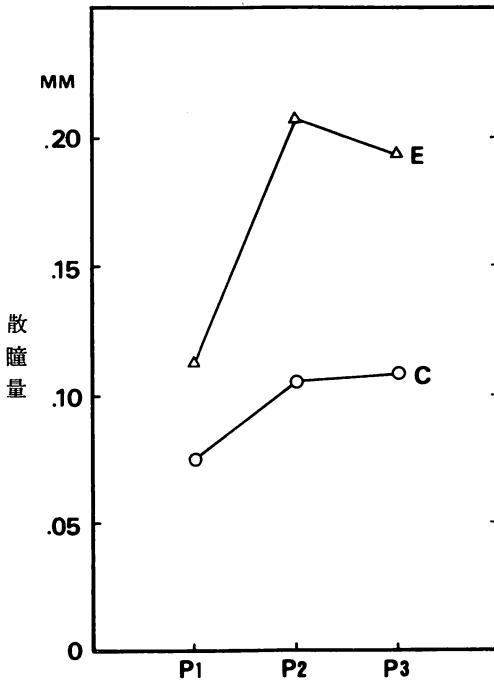


図 6. 各音によって誘発された最大反応量 (PR).

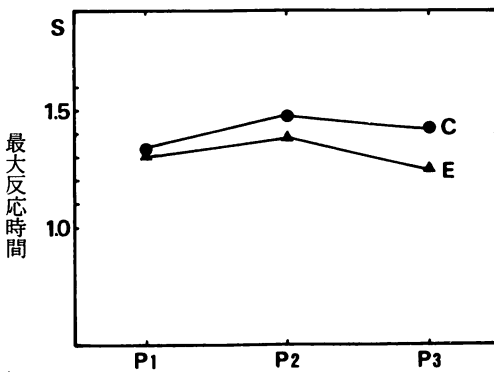


図 7. 刺激を提示してから反応の最大にいたるまでの時間 (最大反応時間: PT).



間に有意な差はなかった。なお、音を提示した後の反応の最大水準までの時間については、両条件、各音間に有意差はなく、平均1350 (±70) msであった(図7)。予告音によって誘発された反応(P1)の最大部の水準を基準にして、課題音、指示音による反応(P2, P3)の最大部の水準までの値(ピーク・レベル: PL)を求め、グラフにすると図8のようになる。コントロール条件では、予告音によるピークレベルより課題音、指示音によるピークレベルが小さ

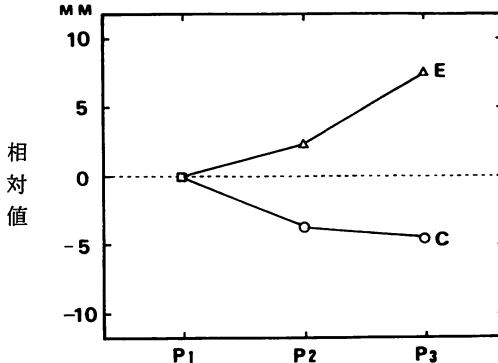


図8. 予告音による反応の最大値を基準とした、課題音、指示音によって誘発された反応の最大部の水準(ピークレベル: PL).

くなる傾向(統計的にはそれぞれの値の間に有意差はない)に対して、実験条件では、課題音、指示音によるピーク・レベルは、予告音によるピーク・レベルより大となっている(それぞれ  $p < 0.05$ ).

#### 4 考 察

2つの音の提示方向が同じであるか異っているかを弁別させることなく音を提示したのみ(コントロール条件)でも、被験者の瞳孔は反応し、変動する。しかし変動量は方向弁別時(実験条件)に、より大きくなり、情報処理を行っていると考えられる課題音提示の後に、その値は最も大きかった。またコントロール条件では、一試行内でも、また系列内でも瞳孔径の基線は縮瞳方向に向かうのに対して、実験条件では、そのような傾向はコントロール条件に比べる

と小さかった。これらの結果は、情報処理における負荷の大きさを反映して瞳孔は大きくなるという従来の多くの研究 (Hess, 1965; Simpson ら, 1966; Kahneman ら, 1967 など) と一致するものである。しかし情報処理を行うか、行なわないかで瞳孔径の基線に変動に差が生じてくる。すなわち、コントロール条件では瞳孔径は時間経過とともに縮小傾向となるのに対して、実験条件では散大傾向をとる。また、いずれの条件でも測定開始後1~4分で 0.2~0.3 Hz の規則的な動揺が出現し、瞳孔径は小さくなっていく。このような報告はこれまでなされていない。これは、これまでの研究では瞳孔運動曲線より瞳孔径を読み取る都合上、紙送り速度を速くしたのと、読み取り密度が粗であったため、このような現象に気づくことがなかったものと思われる。

Friedmanら (1973) の研究は、提示確率の異った視覚刺激の検出課題についてであり、誘発電位、CNV、および瞳孔運動を同時に測定している。この論文で確定条件におけるよりも不確定条件で散瞳量は大きく、CNV は負に大きくなること、P3 も大きくなること、また、これらは提示確率が低く (不確定度が高く) なるほど大きくなることを報告した。我々の実験では、100%正答であるような課題であっても、明らかな散瞳が認められる。最も処理負荷の大きい課題音提示後 (1200ms 付近) の散瞳量が最も大きくなっている。これは Friedmanら (1973) の結果と同じ傾向を示すものであり、フィルム計測でなされた従来の研究 (Hess, 1965; Simpson ら, 1966; Kahneman ら, 1967 など) とも一致するものである。しかし、いずれの研究も課題解決作業を行なわない、提示音を単に受容する消極的条件での測定はなされていない。我々のこの条件 (コントロール条件) での測定結果では、提示音に誘発された散瞳が認められた。聴覚刺激に対する瞳孔の散大反応は、Westphal, C. (1863), Schurygin (1901), Cemach (1920) らによってこれまでに報告されている。三宅 (1936) は 75dB の純音では成人で63%の反応がみられると報告している。上条 (1961) は 1024Hz での瞳孔反射の閾値は 18dB であるが、個人差が 20dB 程度あること、また音強度、周波数によって異なるが、順応効果が大きく、約5回の提示で反応が現われなくなったことなどを記している (くわしくは原著を参照されたし)。

Clynes (1968) によれば、500Hz の音とクリックに対する瞳孔反応の 20~100 回加算で散瞳が認められ、反応潜時は 150ms、反応の最大値までの時間は 1500ms で、数 100 回の試行でも慣れや疲労の効果はなかったという。我々の測定による反応の最大値までの時間は 1300ms で、Clynes (1968) の値とかなり近い。志賀ら (1978) も音刺激に対する種々の型の散瞳を報告している。このように、ある強度以上の音刺激に対する散瞳は明らかといえる。Friedman ら (1973) の確定条件での記録では、音によって誘発されたとみなせる反応が認められない。これ以前の研究はフィルム測定によるものがほとんどのため、微妙な変化を知ることはできない。

我々の測定ではコントロール条件でも提示音に対する反応が認められたが、実験条件での散瞳はさらに大きかった。これは方向弁別を行うため、全体的に覚醒水準が高められているところに、音が与えられそれが引き金となって、反応が高まったとも解釈できるであろう。また、コントロール条件における瞳孔の動きと比較して、実験条件では瞳孔の自発動揺の少ない、安定した時間が長く持続する。このことから実験条件では覚醒水準の高い状態が比較的長く持続しているといえるであろう。

Picton ら (1974) の研究において、クリックが 1.1s ごとに与えられるとき、ときどきその 1 つが欠損する、この欠損の検出作業の際の皮層誘発電位では、クリックの欠損を検出しようとするとき (注意条件) P3 は有意に大きくなるのに対して、音を無視する条件では P3 が目立たない位に小さくなった。我々の実験における、課題音の後の散瞳はこの P3 に類似し、情報処理への大脳の関与の水準を示すものと考えられる。

測定開始 1~4 分後に出現する 0.2~0.3Hz の規則的な自発動揺は今後解明すべき重要な現象であろう。

## 文 献

- (1) Cemach, A.J. 上条豊 (1961) より引用.
- (2) Clynes, M. The non-linear biological dynamics of unidirectional rate sensitivity

- illustrated by analog computer analysis, pupillary reflexes to light and sound, heart rate behavior. *Annals of New York Academy of Sciences*, 1962, 98:806-846.
- (3) Friedman, D., Hakerem, G., Sutton, S. and Fleiss, J.L. Effect of stimulus uncertainty on the pupillary dilation response and the vertex evoked potential. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 1973, 34:475-484.
- (4) Funatsu, T., Harada, T. and Matsunaga, K. New electronic scanning pupillometer, model KS-1. *Bulletin of the Faculty of Literature Kyushu University*, 1973, 14:21-31.
- (5) Hakerem, G. and Sutton, S. Pupillary response at visual threshold. *Nature*, 1966, 212:485-486.
- (6) Hess, E.H. Attitude and pupil size. *Scientific American*, 1965, 212:46-54.
- (7) Kahneman, D. and Beatty, J. Pupillary responses in a pitch discrimination task. *Perception and Psychophysics*, 1967, 2:101-105.
- (8) 上条豊. 聴性瞳孔反応による他覚的聴力測定の研究. 目耳鼻, 1961, 64:78-90.
- (9) Matsunaga, K. A new binocular electronic scanning pupillometer. *Psychologia*, 1973, 16:115-120.
- (10) 三宅正一. 聴性瞳孔反射に関する知見補遺. 目耳鼻, 1936, 42:1011-1022.
- (11) Picton, T.W., Hillyard, S.A. and Galambos, R. Habituation and attention in the auditory system. In Keidel, W.D. and Neff, W.D. (eds), Auditory system, *Handbook of Sensory Physiology* V/3, New York, 1976, pp. 343-389.
- (12) Shurygin, N. 上条豊 (1961) より引用.
- (13) 志賀令明, 大久保幸郎. 復唱課題遂行時の瞳孔反応. 岩手医科大学教養部研究年報 1978, 13:45-53.
- (14) Simpson, H.M. and Paivio, A. Changes in pupil size during an imagery task without motor response involvement. *Psychonomic Science*, 1966, 5:405-406.
- (15) Westphal, C. 上条豊 (1961) より引用.