

## 心的作業負荷の一指標としての瞳孔反応：予備的な考察

船津，孝行

<https://doi.org/10.15017/2328724>

---

出版情報：哲學年報. 28, pp.67-102, 1969-08-30. 九州大学文学部  
バージョン：  
権利関係：

# 心的作業負荷の1指標と としての瞳孔反応\*

— 予備的な考察 —

船 津 孝 行

## 目 次

100	問題領域の概観
10	Hess の問題提起
20	Loewenfeld の批判
30	その後の問題の発展
1	瞳孔反応と性的関心
2	味覚差の測度としての瞳孔反応
3	刺激のセマンチックな、価値的な側面
4	イメージを描いている際における瞳孔反応
5	刺激による賦活と情報処理負荷の指標としての瞳孔反応
200	瞳孔反応の測定装置
10	各種の瞳孔計
20	心理学の実験に使用される瞳孔計が具備すべき条件
30	高木式瞳孔計
40	内藤・石川式瞳孔計
50	新しい瞳孔測定装置の開発
	結び
	[あ と が き]

## 100. 問題領域の概観

ネコの瞳孔が昼間の明るいところでは凸レンズの断面のような型をして狭く、暗いところでは拡大して丸くなることは日常観察されることである。

---

\*この論文の内容の一部は、九大心療内科：心身医学アーベント（第34回例会）、1968、および九州心理学会第30回大会（1968）において報告した。この報告の作成には大学院博士課程の原田富二郎その他教室の多くの学生諸君の協力を得た。

人間の瞳孔も、円型のままその直径を2～8 mmにわたって照度と共に変化することは、対光反射と呼ばれている周知の事実である。しかしながらこのような瞳孔面積が照度いがないの条件、たとえば簡単な暗算を行なっている場合にも拡がるといった現象は、Hess & Polt (1960, '64), Hess (1965) が実験的に確かめるまでは、心理学者の関心を惹きつけることはなかった。

### 10. Hess の問題提起

Scientific American 紙上に発表された Hess 《態度と瞳孔反応》(1965) は、それまでに行なわれた研究を概観したものであるが、その冒頭に彼がこのような研究に着手したいきさつについて次のように述べている。

5年ばかりまえのある晩、ベットの中で非常に美しい動物の写真の本を読んでいた。たまたま家内が私を1べつして、光線の工合が良くないのかしら、貴方の瞳孔がととも大きくなっているといった。私にはベットサイドのランプから十分な光線がとどいてるように思えたので、そういった。しかし彼女は私の瞳孔が開いていると主張して止まなかった。視知覚に関心を抱いている1心理学者として私は、この小さなエピソードに当惑した……

翌朝シカゴ大学の研究室につくや否や、風景を写した幾つかの写真を集めた。その中に1枚だけ‘ピンアップ’を含めた。助手の Polt が部屋に入ってきたとき、彼を即席の実験の被験者とした。写真をよく混ぜ合わせて、自分の方からは見えないうように眼の前に支え、1枚ずつ彼に示し、私は彼の眼に注目した。7枚目の写真が提示されたとき、彼の瞳孔が著しく拡大した。私はその写真に印をつけた。そして、それがピンアップであったことはいうまでもない。Polt と私は瞳孔のサイズと心的活動の関係の研究にスタートした。

Hess & Polt (1960) は、このような視的な刺激と瞳孔のサイズの関係について述べたものである。彼等は、1) 赤ん坊の写真に対して、女性の瞳孔は約18%拡大するが、男性の瞳孔にはほとんど変化が生じない、2) 男性のセミヌードの写真に対し、女性の瞳孔がより拡大し、女性のセミヌードに対して男性の瞳孔がより多く拡大する、3) 風景に対して男性の瞳孔は拡大し、女性の瞳孔は縮少することなどの資料を提出し、情緒的な色

彩を帯びた、または関心のある視覚刺激に対して瞳孔は一般に拡大することを報告した。

さらに Hess & Polt (1964) は、簡単な暗算中 ( $7 \times 8$ ,  $16 \times 23$  など) における瞳孔の変化が、心的活動の直接の指標として用いられること、またこの瞳孔反応は、心的活動それ自体の指標であるだけでなく、問題の困難度とも密接に関係し、困難度が増大するにつれて散瞳(プラス反応)はより大となることを報じた。彼等はこれらの事実を、最近、ソ連の Shakhnowich (1956) などが大脳刺激興奮と瞳孔反射の関連で提唱している定位 orienting reflex に関係をもつものと論じている。

Hess (1965) は、これらの発見を要約したもので、瞳孔サイズの変化の測定装置、実験手続などについて述べた後に、観察者の態度が変化すると、同じ写真に対する彼の瞳孔反応に、対応した変化が生じることを指摘し、進行中の実験とその見透しについて次のように述べている。

1. 快的な、または不快な視覚刺激に対する散瞳と縮瞳
  - a. 斜視、不具の子供の写真など、観察者が見たくないというような写真に対するマイナス反応
  - b. 近代絵画なかなんぞく抽象画に対するマイナス反応、これは Shakhnowich の新奇な幾何図形でマイナス反応が得られたという事実と一致する。
  - c. 戦場の死体の山といった写真に対しては、最初にはプラス、提示を3~5回にわたって反復すると反応はマイナスに転化する。このような刺激がショックを与えるような種類のものだという事は精神電気反射の実験でも立証された。
  - d. 男性に提示した1系列の写真中にチャーミングな若い女性の同じ写真で瞳孔を大、小に修正した2枚の写真を含めると、前者に対して後者の2倍以上のプラス反応が得られたが、実験後の質問で観察者は、それらの2枚の差異を指摘できなかった。女性の瞳孔が開いていることは男性にとってよりチャーミングである。その開いた瞳孔は傍にいる男性に彼女が関心をもっていていることを意味すると思われる。
2. 動機づけの程度を測る指標

食物をとって、1時間および4~5時間を経過した2グループの被験者が、食物の写真に対して示すプラス反応は後者のグループで2~5倍も大きい。

### 3. 味覚刺激

快、不快だと考えられる飲料に対して、コントロールの水と比較して、より大きなプラス反応が得られた。味覚刺激に対する反応は非常に敏感で被験者が意識的には好みをいうことができない場合にも、その差を検出することができる。

### 4. 聴覚刺激

音楽に対する反応には、個人の好みが反映されるが、常にプラスの側のものである。録音テープによって提示した言葉、単語に対しても瞳孔反応が得られるが、それは音楽の場合とは違ったタイプの反応である。

これらの領域における研究は、嗅覚に関する予備的な研究と共に、瞳孔が大脳の視覚中枢と共に他の中枢とも密接に連合しているという仮説を支持するものである。一般的に言って、瞳孔反応は大脳において進行している過程を反映している。

### 5. 暗算とその困難度

簡単な暗算の問題を考えているときには瞳孔は大きくなり、彼が解答を述べた直後に普通の水準に復帰する。問題の困難度が増大するにつれて、プラス反応は大となり、その持続時間は長くなる。

### 6. 意志決定

たとえば time を綴り換えて emit というような語句の綴り換え anagram は、意志決定に当って見られる精神活動にも似ているが、そのような過程を瞳孔反応によって追跡、評価することが可能である。

### 7. 態度の変容

ある人の表明した態度と、瞳孔反応測度の相関は主題によって変化する。食物に対する好ましさの自己評定と、瞳孔反応の間には、プラスの相関が認められる。

しかし社会的な価値や、圧力を含むような領域においては、その相関は小さい、たとえば男女のセミヌードの写真を呈示した場合には、瞳孔反応と言語反応の間に、一致は認められない。

また、ある写真を示して、シュバイツァー博士であるという瞳孔は拡大し、その後今の写真はナチの収容所の所長だったという再び同じ写真を提示すると今度は収縮する。

シカゴ大学の学生、教職員 34 名にジョンソン大統領とゴールドウォーターの写真を示した。すべてが、ジョンソン支持を表明したが、瞳孔測定によると 1/3 の者は、後者に対してよりプラスの態度を有することが判明した。

中間に反ジョンソン、反ゴールドウォーターの宣伝文を読ませると瞳孔反応

にマイナスの方向の変化が生じた。ケネディだけは、このような影響を受けなかった。

#### 8. 精神療法の治療過程をチェックする指標

たとえば、あごひげをはやした人に恐怖を抱いている患者の治療前、治療期間中に瞳孔テストを反復施行することによって、その効果を確かめることができる。

その他にも、たとえば、若い人達の性的な関心の発達を追随する。ストレス下およびストレスから解放された後の瞳孔反応をテストしてパーソナリティの差異を明らかにする。催眠暗示によって生じた知覚の変化の追跡、パッケージ、製品、広告に対する反応の研究、意志決定過程、種々の問題解決の有効性、などの研究を唆している。

われわれは、Hessの研究について長々と紹介した。上記の1)~8)の記述のあるものには、データが示されているが、あるものは多分に推定の域をでないものであり、その確からしさの程度を異にする。さらにその中の幾つかの領域については、後に資料が公刊され、他の研究者による追試と批判とがなされている。

#### 20. Loewenfeld の批判

これらの領域についての、Hess その他の研究者の実験資料の検討に立入るまえに、まず瞳孔を専門に研究している生理学者である Loewenfeld の Hess & Polt の上述の論文(1960; 1964のAPAの発表)に対する批判を掲げておくことが公平だと思われる。

Loewenfeld は、Survey of Ophthalmology (1966, 11, 291-294)に、Hess & Polt の論文をとり上げ、それらの論文の結果があまりにも異常なものなのでとことわった後に、要約する代りにニューヨークタイムス(1964, 11月20日)の記事をそのまま引用し、次のような辛らつな批判を加えた。

- 1) Hess が観察した現象は、すでに1865年に Fontana によって見いだされているものである。彼はネコの眼に光を当て、同時にネコが怖れる動物を見せると、

瞳孔は拡大することを観察した。この事実すなわち敵意を抱く場合に散瞳することには 1250 近くの文献が存在し、瞳孔反応現象の中でももっとも多くの研究がなされた分野である。また数百にも及ぶ臨床的な論文が感性刺激、情緒、種々の精神過程が瞳孔径および運動に及ぼす効果について書かれている。

Hess は、彼の研究がなканずく精神感性的な刺激、視的な刺激をとり扱う点で新しいものだとして述べているが、このことも事実反している。Haab と Piltz の注意反射 *Aufmerksamkeitsreflex* においては視的な刺激が使用された。

- 2) Hess 達が行なったような実験に、視的な刺激はなканずく不適切なものである。われわれは明るさ、色彩、面積、種々のイメージの網膜分布、輻輳が瞳孔に及ぼす直接的な影響をいかに統制すべきかを知らないからである。
- 3) 快、不快な刺激に対して瞳孔の拡大と縮小とが対応するという仮定は支持されないだけでなく事実反するものである。すでに何十年にもわたって悲哀感、情動の程度、刺激時の意識性（睡い、こう奮している、快的または不快）といったことが反応の強さを規定するが、情緒の内容は無関係なこと、さらに光を除くすべての心理的、感性的な刺激は瞳孔を拡大し、それを縮小するものは全く存在しないことが明らかにされている……

Loewenfeld は, Löwenstein (1920) の論文の冒頭の文句を引用している“すべての心的な過程は、正常人においては瞳孔径の変化を伴うということは今日ほとんど普遍的に受け入れられている事実である。たとえば正常な観察者にメトロノームの拍節音を数えさせ適当な手段によって瞳孔を観察すると、瞳孔の運動すなわちメトロノームの拍節音と平行した散瞳が見られる。散瞳はまた他の過程の随伴現象としても生起する：あらゆる種類の知的過程に際しての注意の増大に伴った有意的なインパルスの開始または情動の経過中に生起する” (p.194).

最後に Loewenfeld は、次のようなシニカルな言葉でその批判を結んでいる。“今や Hess は性、政治といった興味深いテーマを研究しつくした。彼のこれからの研究はおそらく外宇宙の問題をとり扱うものであろう。そして新聞や広告業界によって示された関心が非常に大きいことに鑑みて、その中に次のような TV コマーシャルに遭遇しても驚くことはないであろう。《ブランド X の煙草を喫おう、ほうら貴方の瞳孔が広がった》。この批判は、われわれの方法と目標とが、この種の研究とは全く無縁のものだということを示すために書かれたものである” (p. 294).

### 30. その後の問題の発展

Loewenfeld のいうように、瞳孔の変化が心的な活動と関連性をもつことは生理学者の間では早くから知られていた。しかし Hess の論文が心理学者に大きな刺激を与えたことも疑問の余地のない事実である。ある専門領域内では常識的な事実が、他の領域の新しいアプローチの下でその意義を再確認されることはしばしば生起する事実である。サイコロジカル・アブストラクトによって瞳孔関係の論文を数えてみると、1950年から'65年までは毎年5を中心前後しているが、'65年には11、67年には28と急激に増加している。そして'66年以前に心理学者の行なった瞳孔関係の研究は、主として条件づけをとり扱ったものであるが、'66年以降の論文は Hess の論文に刺激されたものがその大部分を占めている。

われわれは心的過程の生理的な指標として、たとえば脳波、精神電気反射、呼吸、脈搏などをすでに所有している。そして今そのレパトリーに瞳孔反応がつけ加えられようとしている。われわれはここで、1965年以降のこの領域における心理学的な研究をとり上げるに当って、この期間における問題の発展をどのように整理するかについて述べておくことが適当であろう。

その1つの方法は、Hess (1965) に掲げられた問題領域を、視的な刺激の関心値 (Hess, 1960)、視的な刺激の感情値 (Hess その他, 1965)、簡単な問題解決中の心的活動 (Hess & Polt, 1964)、態度 (Hess, 1964) といった有機体の心的な状態をとり扱ったものと、味、視、聴、嗅覚といった感性様相ごとの反応の差異をとり扱ったものという工合に記述を進めることである。

しかし、そのような規準はややもすれば機械的な諸実験の分類と羅列に終ってしまう危険がある。もう1つの方法は、感性様相に拘わらずに、その実験の意図している目的の言葉において記述を進めることである。しか



しながら現在までのところは、各研究は経験的な事実を収集する手探りの段階にあって、理論的な仮説を実験的に検証するような発達段階には到達してはいないとも考えられる。

ここでは、このような現状をそのまま反映して次のような項目の下に記述を進めよう。

1) 瞳孔反応と性的関心, 2) 味覚差の測度としての瞳孔反応, 3) 刺激のセマンティックな、価値的な側面, 4) イメージを描いている際の瞳孔反応, 5) 刺激による賦活と、情報処理負荷の指標. このような考察を通じて、瞳孔反応は刺激情報を処理する際における個体の側における負荷を反映するものだと考えるのがもっとも妥当だということが、明らかにされよう。

### 1. 瞳孔反応と性的関心

Hess その他 (1965) は、慎重に同定されたヘテロセクシュアルな男性 (学生と職員) 5名と、ホモの男性5名に、10枚の男女のヌードの写真を示し、普通の男性の場合には、女性のヌードを見ている時に、男性のヌードを見ている時より瞳孔は大きくなるが、ホモの男性では、反対方向の変化が生起することを明らかにした。彼は、このような瞳孔の大きさの変化を測定することによって、両グループをはっきりと識別できると主張した。Hess のそれ以前の論文は、*Science, Scientific American* 誌上に発表されたものであるが、この論文は心理学の専門紙上に、詳細な実験手続きと、数量的資料を初めて公表したものである。

Scott その他 (1967) は、Hess のような性的な関心と瞳孔反応の関係について再検討を行なった。20名、60名の大学生2グループ、および5名ずつの正常およびホモの囚人に、性的なオリエンテーションの明確な写真に対する瞳孔反応を測定する実験を施行した。それらのグループ間の瞳孔反応には、有意な相関を見出すことができなかった。瞳孔反応は偶発的な変動を示し、それを個人の関心のパターンを診断するのに使用するこ

とができないと Hess を批判した。

さらに Bernick & Oberlander (1968) は、ヘテロセクシュアルな性経験を有する 11 名の独身男性 (22~30 才) に、最初にエロチックな映画を見せ、2~4 週後にサスペンス劇の映画を見せた。両映画とも散瞳を生起したが、前者に対する反応の方が僅かに大きいものであった。瞳孔の大きさと、エロチックな映画を見ている時の性的興奮との間には正の相関が認められた。そして、これらの測度は被験者の、予測された、性的刺激に対処する能力とも正に相関したと報告しているが、資料は示されていない。

## 2. 味覚差の測度としての瞳孔反応

Hess & Polt (1966) は、予備実験において、強い正負の味覚刺激が散瞳を生起することが判明したので、この実験において、連続体上のある位置を占める味覚刺激に対する瞳孔反応の差を明らかにしようとして、5 銘柄のオレンジジュースを飲まして、その反応を比較した。被験者として、24~41 才までの 16 名 (男 12 名, 女 4 名) を使用した。被験者は各オレンジジュースの飲用に先立って、コントロールの水をストローで吸った。水とジュースの提示は 20 秒ごとになされた。ジュースを飲む前の 5 秒 (10 コマ) と、直後の 5 秒の瞳孔のサイズの平均が比較された。

実験の結果は、自律神経の交感神経系によって媒介される瞳孔活動が、味覚の敏感さ、そしておそらく味覚の好みを表わす指標として用いられることの強力な証拠となるようなものであった。水に対する瞳孔反応には、一般的な下降傾向が存在したが、このことが実験中に、オレンジ、または水に対する味覚受容器の順応を示すものだとはいえられない。この種の刺激に対して、味覚受容器は 20 秒間には完全に回復するという証拠があるからであると主張した。

Dooley & Lehr (1967) は、Hess & Polt (1966) の上記の実験を、実験計画、コントロール、資料の観点から批判した。彼らの批判を要約す

れば次のようになる。

1) 彼等はオレンジ刺激の快, 不快についてのあらわな判断を被験者に求めることをしなかった。かくして彼等は, 散瞳と味覚刺激の間に関係が存在し, この関係がプラスの方向のものだと仮定するが, このような仮説を支持する資料は存在しないことになる。味覚刺激と瞳孔径の間の関係が多義なものではないと仮定することは合理的ではない。

2) 彼等の実験においては, 実験刺激に関しては, オレンジ1から5へ, 5から1への折返しだけしかなされなかった。彼等の資料で刺激3に対する散瞳が著しかったのは, 刺激3がいずれの方向からも3番目に位置し, ウォーミングアップといった効果が出現したのだと考えられる。

3) 彼等は味覚研究において普通に使用されるコントロール, すなわち味覚計を使用しなかった。それで提示量, 影響される領域をコントロールすること, または刺激の提示間に刺激された領域を洗浄することは極めて困難であった。

4) 彼等は従属変数 (mmでの瞳孔の大きさ) が比測定尺度上のものである時に, ノンパラメトリックな検定を使用した。F検定に必要な仮定を行なえないということについて何等の言及もなされてはいない。

などの諸点について, Hess & Polt (1966) を批判した。

Hess & Polt (1967) は, 上記の批判に対して, われわれの視覚的なパターンを用いた実験 (Hess & Polt, 1960, 1964; Hess, 1965) が Bergum & Lehr (1966b), Stewart & Jensen (1966) の言葉刺激を用いた実験で検証できなかったからといって別に不思議だとはいえない。彼等は, Bergum & Lehr (1966a) が, 視覚的なパターンを用いて, われわれの研究結果を確証した事実を忘れているとして, 批判に対して以下のように反論している。

1) われわれの論文は, 散瞳が味覚刺激に関連性をもつということを証明することにあつたのであって, そうだということを仮定したのではない。

予備実験では、味覚刺激が概して散瞳を生起することを示した。われわれの論文は、オレンジ飲料が水よりも大きな散瞳をもたらし、さらに、すべてが快的な刺激ではあったが、その中の1つが他のものよりもいっそう大きな散瞳をもたらしたということを明らかにした。この同じ銘柄が、測定後の内省で、もっとも好ましいものだということが述べられたのだが、われわれの目的は瞳孔反応と言葉で表明された好みの関係を示すことではなく、もっと用心深く、またより基本的に味覚刺激と瞳孔反応の関係を示すことにあった。

2) 彼等は、銘柄3は試行順序の効果で大きなプラス反応を生起したと述べているが、われわれの数多くの未公開の資料で提示順位の効果はただ、実験系列の最初に提示された刺激にだけ存在することを明らかにしている。このことは、視的・聴的・嗅覚的・触的な刺激においても正しい。Sokolov (1965) もまたこの“第1刺激”効果を指摘している。

3) 各回に飲まれた液量を知ることは興味あることであったかもしれないが、各個体が1回に飲む量が彼にとって比較的に一定していることを疑わねばならない理由はない。われわれは、味覚刺激が瞳孔活動に影響するという事実を確立しようとしているのである。水を飲んだことは、刺激提示間にその領域を洗浄することに役立ったと考えられる。

4) 彼等は、従属変数としてmmでの瞳孔径が使用されたと主張するが、われわれが使用したのは、その刺激によって生起した瞳孔の大きさのパーセンテージ変化であった。われわれはもしパラメトリックなテストが使用されるべきであったとすれば、心ならずも間隔尺度水準の測定か、その母集団に対して、このような条件下におけるこの測度の正規分布のいずれかを仮定しなければならないことになる。それでノンパラメトリックな検定を行なったのである。

批判に対する反論としては、Hess の主張は正しい。しかし彼はある場合には瞳孔反応を感覚様相に、またそれで工合が悪くなると関心値、感情

値といった別の次元に関連させようとする点で首尾一貫性に欠けるところがあることは否定できない。

### 3' 刺激のセマンチックな価値的な側面

サイコロジカル アブストラクトによれば、Peavler & Mclaughlin (1967) は、刺激の賦活性が大なるもの、またはその刺激が新奇なものである場合には、たとえ輝度が上昇しても瞳孔のサイズが増大するという証拠があると報告し、瞳孔の大きさは視覚的に提示された単語のもつ感情値(評定された)と共に変化するという仮説は支持されなかったと述べている。

また同じ年に Collins その他 (1967) は、同じ問題をセマンチック・ディファレンシャルを使っていっそう組織的に研究した。彼等は 36 刺激に対する瞳孔のサイズの変化とセマンチック・ディファレンシャルの 3 つの次元(強い—弱い, 大きい—小さい, 重い—軽い)との間に正の相関を得た。Hess の議論とは反対に、瞳孔の大きさが意味の評価次元(よい—わるい)と関連しているという証拠は認められなかった。

Hutt その他 (1967) は、瞳孔のサイズと認知いきの関係の問題とし、広範囲にわたる情緒的な含蓄(タブー, 快, 不快)をもった言葉を瞬間的に露出して、40名の大学生の瞳孔を測定した。瞳孔径と言葉の認知いきの間には予期されたような、統計的に有意なマイナスの相関が得られた。彼等はその結果を、情緒的に負荷された刺激に対する瞳孔反応が、知覚防衛ならびにビジランスのメカニズムであると解釈しようと試みている。

Vacchiano その他 (1968) は、価値的な色彩を帯びた単語に対する瞳孔反応を直接に問題とした。彼等は、興味または情緒的に負荷された刺激が瞳孔反応を生起することが Hess によって証明されているので、同様なことが個人的な高い価値をもった単語を眺めるときにも生起しなければならぬとして、12名の被験者のそれぞれについて慎重に選択された、高い、

低い、中性の重要度をもつ単語を提示した。瞳孔のサイズと、単語のもつ価値の間には、いかなる有意な関係も存在しなかった。価値を異にした単語の対に対する瞳孔の変化には、散瞳と縮瞳とが全く公平に分布したのである。

#### 4. イメージを描いている際における瞳孔反応

われわれが瞳孔反応に注目しているのは、それが認知の内的な規定性に対するある客観的な指標となりうる可能性が存在するからである。知覚または認知は外界からのインプット情報を個体に変換、加工することによって成立する。このような内的な変換過程が何等かの指標によって捕えられるとすれば、心理学のとり扱っている現象の解明に新しい武器が与えられることになる。

Paivio & Simpson (1966) は、提示された単語に対するイメージを造り出そうとしている時の被験者の瞳孔が拡大することはすでに明らかにされているが、具象的な単語よりも抽象的な単語のイメージを描こうとしている時の散瞳がより大きく、その単語の快・不快さとは無関係であり、散瞳は認知的作業の困難度を反映することを明らかにした。

さらに Simpson & Paivio (1966) は、前実験においては、被験者に電鍵を押させることによってイメージが生起していることが示されたが、そのような運動反応を要求しない条件では散瞳が減衰することを明らかにした。彼らはその結果を作業の困難さの差、動機づけ的な要因の効果および運動反応と直接的に結びついた賦活効果によって解釈されるとしている。

また Parker が《誘導された筋肉緊張に対する瞳孔反応》を APA 大会 (1967) に発表しているが、その詳細は不明である。

### 5. 刺激による賦活と情報処理負荷の指標としての瞳孔反応

Hess & Polt (1964) は簡単な掛け算問題を解いている際の瞳孔反応が精神活動の直接的な測度であることを述べたものであり、問題の困難度と共に散瞳が大きくなることを明らかにした。彼等は情報の処理負荷という言葉は使用してはしていないが、取扱われた問題は正に処理負荷が瞳孔に及ぼす効果の問題に他ならない。

Beatty & Kahneman (1966) は長期、短期の記憶から電話番号を再生している際の瞳孔反応を測定し、それが被験者のその瞬間の負荷と共に変化することを確かめた。

Kahneman & Beatty (1966) は瞳孔径は短期間の記憶作業中において処理負荷の測度である。素材が提示されたとき（負荷期）に散瞳し、口頭で報告するとき（負荷の解放期）に縮瞳する、このような散瞳と縮瞳とは仕事の困難度と関連していることを明らかにした。

Nunnally その他 (1967) は瞳孔反応を賦活 activation の一般的な指標と考えて、次のような5つの作業を行なっている間の瞳孔のサイズを30名の男子学生について測定した：1) 挙重によってもたらされた筋緊張、2) 撃つぞとどされた時の恐れ、3) 大きな純音による強烈な刺激、4) 新奇な絵画を眺めることによる注意の高進、5) 情緒的に負荷された点で相異なる写真に対する反応における快・不快。

瞳孔の大きさと筋緊張の間、および発砲の脅しの間時間に高度の対応が認められた。他の3形式の刺激に対しても瞳孔のサイズに与える顕著な効果が認められると報告されているが、Abstract によったので顕著な効果がどのようなものか疑問である。

Kahneman その他 (1967) はドライバーが話に没頭しているとシグナルを見逃すことがあるように、思考作業に集中しているときには、感覚的・知覚的な弁別が低下する、このような例は、自律的な活動の2つの異なっ

たパターンが環境に注意を払っているときと、問題解決に見られるような内面に注意を指向しているときを性格づけていることを示すものである、他方において瞳孔反応は種々の心的な負荷を伴う活動の敏感な指標であるとして、観察者に録音テープで与えられた数値 8340 を 9451 に変換する作業をさせながら、アルファベットの字母を毎秒 5 文字の割合で観察者の眼から約 40cm の距離に提示し、毎回の試行ごとに、その中に K が含まれていたかどうかを報告させた。シグナル検出の確率は 1) 試行の経過中 (8 秒) の時間的な位置と共に変化した。検出の失敗と瞳孔の大きさの変化の間に、同様な時間的な経過が認められた。その作業が観察者に課する負荷の瞬間的な変動が両方の指標に反映された。しかし、自然視と人工瞳孔 (2.5mm) で、シグナル検出の失敗が大体において同じように経過したので、瞳孔のサイズの変化によって、検出の失敗を説明することは出来ないと結論されている。

Kahneman & Beatty (1967) は従来の研究は瞳孔径と賦活、機敏さ、または注意といった構成体の間に相関が存在することを示唆するものであるが、それらの相関をいっそう明細化する必要がある。かすかなシグナルを見たり、メロディに注意したり、結婚記念日を思いだそうとしたり、暗算をしたりしているときには機敏さの高い水準にある、これらの状態のすべてはある観点においては類似しているが、他の観点においては異なるとして、生理学的な指標と注意の種々のタイプの間の関係をより明らかにすることが必要であると主張した。

最近 Lacey その他 (1963), Obrist (1963) は、メロディをきくといった外界を指向した注意と問題解決に見られるような内に向った注意の間を区別した。これらの 2 つの状態には異なった 2 つの自律的な賦活の生理的なパターンが対応する。今日までの証拠によれば、散瞳は、注意が情報の積極的な処理に向けられている場合には常に生起するが、注意が刺激の受動的な受入れに向けられている時の瞳孔の変化については証拠が欠けて



いるとして、1) 瞳孔径と、主として非言語的な性格の処理活動の負荷の間の相関、2) 機敏な期待の時期中の瞳孔の変化と、情報が受入れられた後の意志決定に伴った瞳孔変化とを比較する、3) 弁別作業において、練習に伴って瞳孔反応がいかに変化するか、などを目標として、恒常刺激法の条件下に音高弁別を行なっている被験者の瞳孔を測定した。

1) 突発的な散瞳が比較音の提示の直後に生じた。そしてこの反応の大きさは弁別の困難さと密接に関連した。2) 各試行ブロック内において、基線の変化が生じた。3) 反復提示される標準刺激に対する反応は実験中に低下した。これらの事実は処理負荷の指標としての瞳孔測定の妥当性を示すものであるとした。

Kahneman & Beatty (1966) はこれらの資料にもとづいて次のような議論を展開している。1) 最近まで、散瞳は情緒的な賦活 (Hess & Polt, 1960, '66, など), または定位反射 (Sokolov, 1963) として取り上げられてきたが、現在の実験結果は第3の重要な散瞳の階級が存在すること、を示している。それは種々の精神作業が有機体の情報処理能力に課する要請と密接に関連しているものである。2) ここに述べられた反応の量は、ある特刺激の賦活特定性によって規定されるものではなく、むしろ、特定刺激によって運搬された情報に対して有機体が行なうものに対応する。われわれが関心を持っている瞳孔反応は、最近多くの者によって記述されているような特殊な精神活動の EEG 対件に結びついたものであろう。

彼等は、その処理負荷の概念を、次のような類喩によって説明している。いま手動のスイッチ、または内蔵する制御機構によって作動する部屋一杯の電気装置を考えてみよう。ある特定時にその全システムによって要求される全電力は、その部屋の外の適当な計器によって読みとられる。ここでいう処理負荷は必要な全電力に類似したものであり、また、瞳孔がそのような計器としての機能を営なむということを期待する理由が存在する。負荷と、より馴染み深い概念である賦活という概念が適用される文脈の間には

重要な差異が存在する。有機体は刺激によって賦活される；有機体はそれ自身の責任において負荷を負わせられるのである。

そして最後に、散瞳はおそらく、それが快的なものであろうと、不快なものであらうと、心的活動の実質的な増大につれて生起するというのが彼らの結論である。

Kahneman その他 (1968b) は《心的作業中の瞳孔、心搏、皮膚抵抗の変化》において、このような線に沿った考えをまさに展開していると思われるが、現在までのところ、まだ印刷中で入手はできなかった。

Kahneman その他 (1968a) は、心的活動中における瞳孔の変化についての最近の研究は、瞳孔のサイズの変化は、かなりな正確さで毎秒の処理負荷 processing load の変化を反映するものだというを示唆している、しかし、瞳孔反応が処理負荷を測る実用的な道具であることを受入れるには、多くの問題が解明されなければならないとした。その問題の1つは、瞳孔反応に対応する心理学的な変数を確定することであり、他の1つは、情報処理の効果を、あらゆる活動の効果から分離しなければならないことであるとして、瞳孔反応に及ぼす言語化と、誘因の効果とを分析する実験を施行した。聴覚的に与えられた4桁の数字を短時間後に心の中でそのまま反復せよ、口頭で反復せよ、各桁に1を加えて考えよ、口に出していえ（たとえば、8341 ならば 9452 という工合に）という教示の下で、1) 言語化の条件とは関りなく、プラス1条件で、プラス0条件よりも散瞳が大である。2) 言語化の条件で、プラス1に対応する曲線は、プラス0のそれよりも遅れてピークに到達する。また報償金と罰金をつけ加えて、その作業のリスクを変えると、高い報酬だけが、容易な方の作業（プラス0）で、瞳孔反応を増大した。これらの実験を通じて、最大の効果は、作業の困難度と連合していた。その結果は、心的活動によってつけ加えられた負荷の指標として、瞳孔反応が妥当することを確認するものであるとされた。

彼等の実験では、観察者の反応を時間的に明確に規定することによって、非常にきれいな瞳孔反応の時間的経過を示す曲線が得られていることが注目される。

a) 言語化の効果：われわれの実験においては、常に被験者の運動反応、または言語反応が要求される。前記の論文は運動反応が瞳孔反応に効果をもつことを明らかにした。この項でとり上げる研究は、言語化が瞳孔反応に対してもつ効果を直接のテーマとしたものである。

Bernick & Oberlander (1968) は、録音テープによって与えられた刺激をきいている際の心的な内容を言葉で述べよ、黙って見ていよ、なんでも考えよ、起こっていることを連続的にいえ、その感情が快的なものであるか、不快なものであるかをいえ、という1系列の指示が瞳孔反応に及ぼす効果を分析して、1) 言語化は相対的な散瞳をもたらす、2) 連続的に報告を求めることは相対的な縮瞳を生起する、3) 不快よりも快的なものだと被験者が述べる際に瞳孔はより大きくなったと報告した。

Bradshaw (1967) は、情報処理中の賦活の測度として瞳孔反応をとり扱った。

提示される問題のタイプ、被験者に要求される運動反応のタイプという2種類の要因を変化して、Bradshaw は：

1) 新奇なもの、見馴れたもの、その意味が理解できるものとできないような漫画の間で、瞳孔反応について差を認めることができた。2) 素材に対する好み、刺激の複雑さの程度、抽象的・幾何学的線画に含まれた情報量と瞳孔反応の間には差を検出できないとう、これまでのものとは矛盾する結果を得た。3) 解が1つだけしかないアナグラム、簡単な算術の答が出たときには、散瞳のすぐ後で、解決後の急激な縮瞳が生起したが、解が多いような問題の場合には、このような解決による縮瞳は認められない。4) 種々の算術問題で易しいものよりも難かしいもの、解けなかったもので、相対的に高い水準の散瞳が生起した、5) 予め予定された瞬間、ま

たはシグナルのすぐ後で、反応を言葉で表現させると、その間に散瞳が生じた。問題が解けたらボタンを押させるような運動反応をさせると、言語化と同様な効果が認められた。6) おそらく賦活の低下によると思われる瞳孔のサイズ水準の低下が、実験期中に認められた。刺激または反応の仕方を切換えるともとの水準に復帰した。

また、Bradshaw (1968a) は、種々のタイプの問題を解いている際の瞳孔のサイズの変化をモニターした。この自律的な指標が、情報の処理と反応の種々の側面と連合している注意と賦活の水準の動揺の敏感な測度であるという理論を確認する結果が得られた。

Bradshaw (1968b) は、連続的な処理を必要とする作業の負荷と瞳孔の変化を問題とした。彼は、認知的な困難度の変化する作業に対する反応を比較するときの、困難度の水準を数量化する問題を、連続処理作業によって解決した。彼は、認知的な負荷を、提示数、要請される処理の全般的な複雑さに分け、さらに後者は、同時に処理されるインプットの項目数、要請されるアウトプットの数、行為がなされるに必要な比較の数の一次関数だとした。従って、提示数が増大するにつれ、また決定の数がますますつれ、および運動反応の範囲が増大するにつれて、より大きな散瞳が生起すると仮定した。

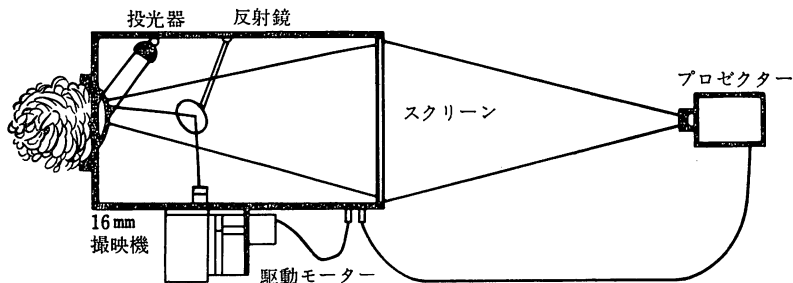
具体的な実験手続をここに述べる余裕はないが、聴覚的な刺激素材の連続的な処理において、いま述べた作業の困難度の2基準が、両つながら散瞳に貢献した。それはボタン押しの反応の直前にさらに増大した。彼はそこに含まれた賦活水準の変化が、処理作業の経過中における散瞳に対して規則的な効果を与えることを確認した。また、一般的な散瞳の低下が、一様な素材に曝露されている期間中に認められた。

## 200. 瞳孔反応の測定装置

われわれはこれまで意識的に瞳孔反応の測定法について触れることをし

なかった。Hess 自身また心理学者の多くが用いた測定装置は 2.1 図に示されるようなものであった。

2.1図 瞳孔反応測定装置



Hess (1965) に示された測定装置, 赤外線ランプが瞳孔を照射し, その反射光が  $45^\circ$  にセットされた鏡を経て, カメラで撮影される。鏡は眼よりも低く, スクリーンを見るのに邪魔にはならない。プロセクターはタイマーによって自動的に 10 秒ごとに, コントロールと刺激スライドを切替える。カメラはモーターで駆動され, 毎秒 2 コマの速度で瞳孔を撮影する。Hess その他 (1965) では, 鏡の代りに  $45^\circ$  にセットされたハーフミラーが使用された。

われわれは撮影機とテレビカメラを併用して予備的な観察に使用している。モニター・ブラウン管一杯に拡大した眼を観察すると, コントロールおよび刺激提示中に瞳孔が敏感にそのサイズを拡大, 縮小すると同時に, 眼球がたえず運動していることが判明する。従って, われわれの予備的な研究では Hess その他の研究者が行なったように毎秒2コマといった小さなタイム・サンプルではなく, 10~15コマの撮影速度を用いて測定を行なった。

ところでこのような測定法を用いている限り, 撮影や現像のミスによってその実験系列が無駄になったり, また順調に実験が進行した場合にも多量のフィルムが必要となる。より効率的な測定装置が開発されることが望ましい。われわれは現在, 従来の方法に従って実験を行なう一方, より有効な測定装置の開発を進めている。次に測定装置について従来の研究を概観し, われわれの見透しについて述べておこう。

## 10. 各種の瞳孔計\*

東大眼科教室の内藤と石川(1968)は、瞳孔計を次のように分類している。

- 1) 映画に撮影する方法
- 2) 虹彩面の反射光量を測定する方法
- 3) 網膜に写った瞳孔径を測定する方法
- 4) 機械的に光彩面を走査する方法
- 5) 電子的走査法

1) の方法は、シネカメラを用いて瞳孔の拡大写真をとり、そのフィルムを拡大して1コマずつ物指しを当てて測るという原始的な方法であるが、特殊な装置を必要とせず、測定の誤差もほとんど読みとりの誤差に限られるので、多くの労力と多量のフィルムを必要とするにも関わらず、Hess\*\*その他の研究者によって使用されている。すでに述べたように、われわれの教室でも、新しい瞳孔計が開発されるまでの当座の方法としてこの手続によって測定を行なっている。

2) の方法は、虹彩を赤外線で照射し、その反射光を光電変換器を使用して電流に変えてそれを記録するものである。これは Matthes (1941)<sup>1)</sup>によって考察され、Cüppers (1951)<sup>2)</sup>、Stark (1959)<sup>3)</sup>によって改良を加えられたものである。わが国においても高木式 (1952)<sup>4)</sup>として市販されている。

---

\* この項の記述は、大野(1967)、内藤・石川(1968)に負うところが大きい。

\*\* Hess 以前にも Bellarminov (1885)、Löwenstein (1920) など多くの者によって使用されている。

1) Matthes, K.: Klin. Wschr., 20, 295, 1941.

2) Cüppers, C.: Klin. Mbl. Augenheilk., 119, 411, 1951.

3) Stark, L.: Proc. I.R.E., 47, 1925, 1959.

4) 高木・真柄: 臨眼, 6, 862, 1952.

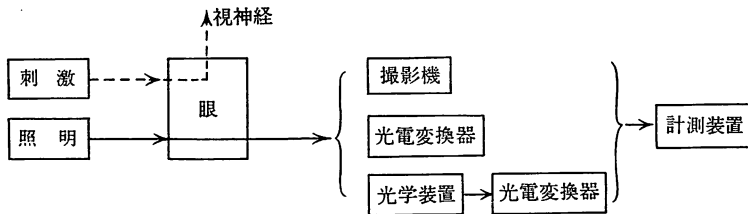
3) 網膜に写った瞳孔径を測定する方法には、Maltesos (1938)<sup>5)</sup> のように、眼球内に光を投射し、瞳孔から出てくる光線を光電管によって変換したり、植木・大野 (1963)<sup>6)</sup> のように、フォト・トランジスタを直接に眼球内に挿入して、入射光量を記録する方法などがある。いずれも動物を用いた実験に使用されたもので、心理学の実験には使用できない。

4) 機械的な走査法は、スリットをあけたドラム (Löwenstein, 1958)<sup>7)</sup> または円板 (Clark, 1966)<sup>8)</sup> を高速回転させ、中心に置かれた光源からのビームで虹彩を走査し、その反射光を測定しようとするものである。この場合には大きなドラムや円板が顔の前面にセットされるので、視覚的なパターンを刺激として提示することはできない。

5) 電子走査法はもっとも新しく、またもっとも有効な方法である。Stark (1962)<sup>9)</sup> はイメージ管を、Green (1967)<sup>10)</sup> は電磁偏向型のビジコンを用いた装置を発表している。わが国でも内藤・石川 (1968) が、静電型のビジコンを使った新しい装置を開発している。

以上に述べたように、瞳孔計のタイプを大きく5つに分類することができるが、それらの測定原理を要約すれば、次図のようになる。

2.2図 瞳孔計の原理



5) Maltesos : Pflüg. Arch. Physiol., **241**, 129, 1938.

6) Ueki, S., & Oono, S. : Arch. int. Pharmacodyn., **142**, 339, 1963.

7) Löwenstein, O. : Arch Ophthal., **59**, 352, 1958.

8) Clark, W. B. : Arch. Ophthal., **76**, 355, 1966.

9) Stark, L. : M. I. T. Auart. Prog. Rept., **66**, 404, 1962.

10) Green, D. G. : J. O.pt Soc. Am., **57**, 830, 1967.

## 20. 心理学の実験に使用される瞳孔計が具備すべき条件

瞳孔計は医学、心理学、人間工学等における研究上の必要から開発されてきたものであるが、前節で述べたような実用化に成功した例はそのほとんどが眼科学と結びついて発達してきたという現状から、これらの装置をそのまま心理学的測定に流用するにはいくつかの問題が生じる。そこで、心理学的実験に使用されるために瞳孔計が具備すべき条件を列挙しよう。

- 1) 測定に際して、被験者の眼球に手を加える必要のないこと。
- 2) 図形パターンを刺激として用いることを考慮して、装置が視線をさえぎることのないこと。
- 3) 測定用の眼球照明は、虹彩を常に一定の明るさに保つこと。
- 4) 口頭による内省報告または実験時間が長くなる場合のことを考えて、顔面固定には或る程度の余裕をもたせ、またその範囲内で眼球が移動しても、測定に誤差を生じないこと。

条件 1) は、実験者が医学者でないこと、データの統計的処理を可能にするために数多くの被験者を扱うこと、実験条件のコントロールを厳密に行なうために、余分の刺激を与えるべきではないなどの理由により、基本的な要請である。

条件 2) は、装置のレイアウトに制限を与えるもので、このために、高木式をはじめ多くの既製の瞳孔計がそのままでは使用できないことになる。

条件 3) は、装置としてはやや副次的な照明法の問題であるが、有力な瞳孔計のほとんどがその内部に光学系を使用していることから、2) および 4) の条件と関連して、瞳孔計の性能を左右する重要なファクターとなっている。すなわち、条件 2) のために、照明は顔面に斜側方からあてられることになるが、その際、視線を移動させるために眼球の回転が起こると、照明によっては、虹彩に達する光量が変化して瞳孔径に影響を与えたり、さらに虹彩からの反射光も変化することになって、装置によっては誤



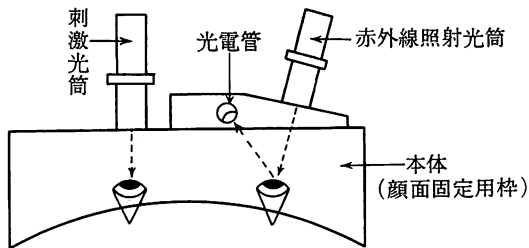
った記録をすることになる。

条件 4) についても 3) と同様のことがいえるが、この条件独特のものとしては、顔面の移動によって光学系の視野内のパターンが変化するので、顔面上の明るさの分布が一定に保たれている場合でさえも、装置への入射光量が変化するという事態が生じる。これは照明上の問題ではなく、装置そのものにおいて解決せねばならない。

### 30. 高木式瞳孔計

高木式瞳孔計は、赤外線を一方の虹彩に当て、その反射光を光電管に受け、他眼に光刺激を与えると両眼の虹彩が同時に収縮し光の反射量が増加し、光電管に流れる電流が増加するという原理に基づき、光電管に流れる電流の増減を高利得の直流増幅器を通してレコーダーに導き、これにより瞳孔の刺激に対する収縮状況をグラフに記録するものである（高木式瞳孔伸縮測定器、取扱説明書より）。その主要部分を2.3図に示す。

2.3図 高木式瞳孔計



高木式瞳孔計の特徴を挙げると、

- 1) 刺激と照明とを別々の眼に与える
- 2) 光電管は虹彩からの反射光を直接受ける
- 3) 照明に赤外線を用いる

この3つの特徴は互いに関連し合っていて、1) と 3) は 2) の結果から出

てくる。まず、瞳孔面積と反射光量とを1対1に対応させるためには、虹彩と照明と光電管の相対的位置に変動が起こってはならないので、図に示すように、照射光筒と光電管は眼球の直前に、しかも顔面固定用の枠の上に取り付けねばならない。したがって、この眼に光刺激を与えることはできず、他方の眼に与えることになる。この場合、測定用の照明光によって瞳孔反射が生じると、これがそのまま誤差出力として出てくるので、測定する方の眼には赤外線を用いる。

以上のような特徴をもつ高木式瞳孔計を心理学的実験に使用する場合に、最初に生じる問題は、a) 刺激光筒が本体に密着しているので、任意の視覚刺激を適当な距離をおいて提示することができないということである。この難点は刺激光筒を取り去ることにより、簡単に解決される。しかし、刺激光筒を取り去って、面積のある刺激パターンを提示すると、視線がパターン上を移動し、眼球が回転することになるので、測定に誤差が生じることがある。これは b) 虹彩の移動によってその面積が変わったり、光電管から見た視線方向が変わったりすることにより、反射光量に変化が生じて、あたかも瞳孔が収縮拡大したかのように記録されるからである。さらに c) 虹彩の反射率は人によって大きく異なるので、記録に実数値をあてはめるには、各人について較正しなければならないという難点がある。

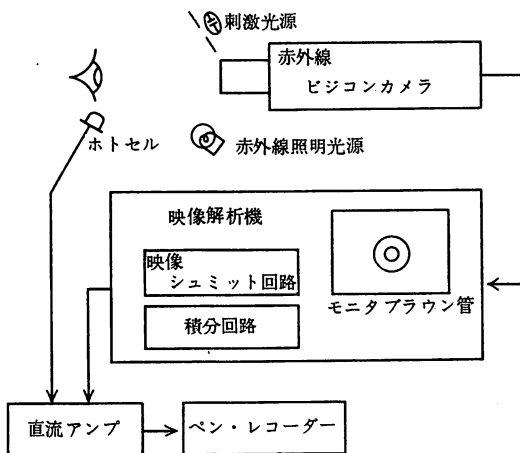
#### 40. 内藤・石川式瞳孔計

内藤・石川式瞳孔計は、上に述べた高木式のもつ難点を少なくとも原理的には完全に解決しており、現段階ではほぼ理想的な方式といえることができる。

2.4 図に示すように、赤外線によって照明された虹彩面は、赤外線ビジコンによって撮像され、その映像信号は映像解析機に入って瞳孔面積に比例する電圧値に変換され、これが直流増幅機を通してペンレコーダで記録される。この方式のポイントは、a) ビジコンカメラは前眼部を走査して

いるので、映像信号の中から瞳孔に相当する部分だけを検出することが可能であるという点であり、これによって、虹彩の面積が変動しても測定には影響を与えない。同じ理由でb) 虹彩の明るさは一応無関係になるので、各人について較正する必要はなくなる。この瞳孔のみを検出する原理を2.5図に示す。

2.4図 内藤・石川式瞳孔計

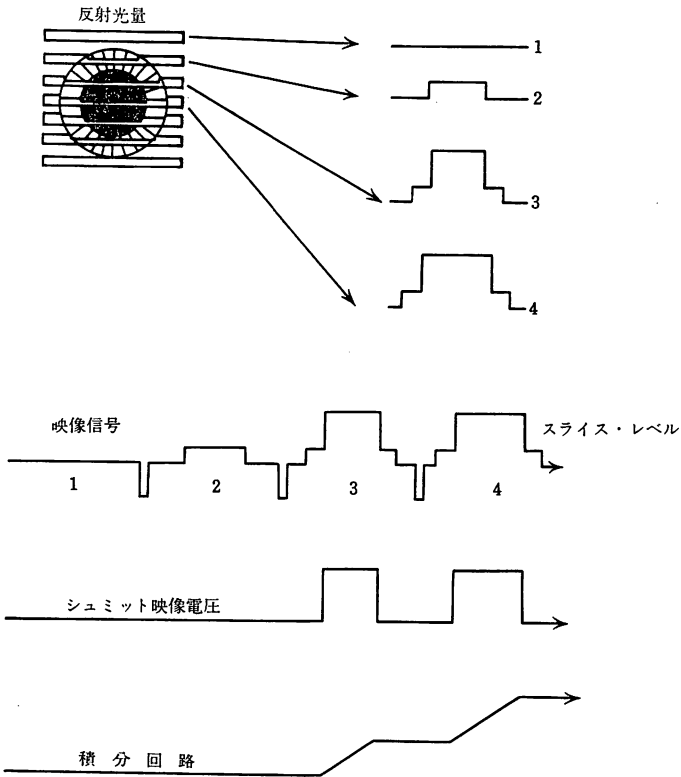


2.5図において、ビジコンカメラからの映像信号は、映像電圧1~4が連らなつたものと、テレビブラウン管のための同期信号とから成っているが、これはシュミット回路により適当な電圧でスライスされて、瞳孔に対応する部分のみが出力に現われる。この出力波形は瞳孔径に応じた幅をもつパルスであり、これを1コマ分積分すると、瞳孔の面積に比例する電圧が得られる。

この方式もやはり眼科学上の研究のために開発されたものなので、オリジナルなレイアウトでは刺激パターンを提示できるように工夫されていないが、これは次節で述べるように容易に解決し得る。他に難点を探すとすれば、静電型の赤外線ビジコンカメラは、普通のテレビカメラに比べて

入手困難なことぐらいのものである。

2.5図 瞳孔検出原理



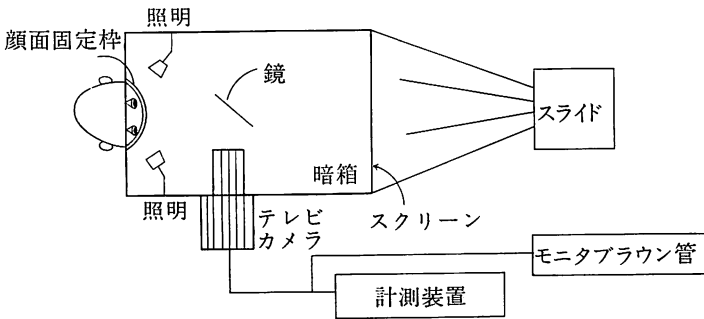
## 50. 新しい瞳孔測定装置の開発

われわれの教室では、原田・松永（1968）が心理学の実験に適切な瞳孔計の開発に従事している。その方式は、原理的には先に述べた内藤・石川式と同じものである。テレビカメラからの映像信号を瞳孔面積に対応した電圧波型に変換すべく苦慮しているときに、内藤・石川式の資料を入手し、そこに簡単ではあるがそれまで気付かなかった新しいアイデアが存在す

ることを見いだした。それは波型整形回路とも呼ばれるシュミット回路が使用されていることであった。シュミット回路から後の計測装置については、われわれがそれまでに構成していた回路方式を前進させることで十分であるし、むしろわれわれの方式の方が構成において簡潔であると考えている。

われわれの瞳孔計のレイアウトは 2.6 図に示されている。その外観は Hess のものと変わらない。眼球照明には数個の光源を用いて均一な照明を与え、その反射光は箱の中央下方に置いた反射鏡により、ビジコンカメラ

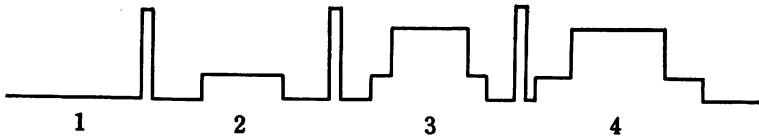
2.6図 瞳孔計のレイアウト



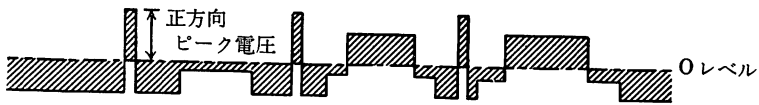
に導かれる。カメラは望遠レンズと接写リングにより、モニターブラウン管の画面一パイに角膜の両端がかかる程度に拡大してある。カメラからの出力映像信号は計測装置に入り、最終的にはペンレコーダーで記録される。

内藤・石川式と違って、ここに使用しているビジコンカメラは普通の形式のものであるので、その映像信号は第4図に示す波形と少し異なって、2.7 図のようになる。すなわち、同期および帰線消去パルスは瞳孔と同

2.7図 映像信号出力波形



2.8図 直流を除去した波形



じ方向に出る（図では上方向が黒，下方が白に対応している）。

この映像信号を瞳孔の大きさに対応する電圧値に変換するために、われわれが最初に考えたのは、平均値からのピーク電圧を計るという方法であった。2.7図の映像信号波形からコンデンサーを通して直流を除去すると、2.8図に示すように、平均値をゼロレベルとして、上下に飛び出す波形となる。この場合0レベルの上と下において、斜線を施した部分の面積の総和は上下等しくなる。いま、瞳孔が拡大したとすると、瞳孔に相当するパルスの幅が増すので、平均値である0レベルは上に移動し、0レベルからの正方向のピーク電圧は減少する。瞳孔面積と正方向ピーク電圧との関係は一次関数で表わされ、

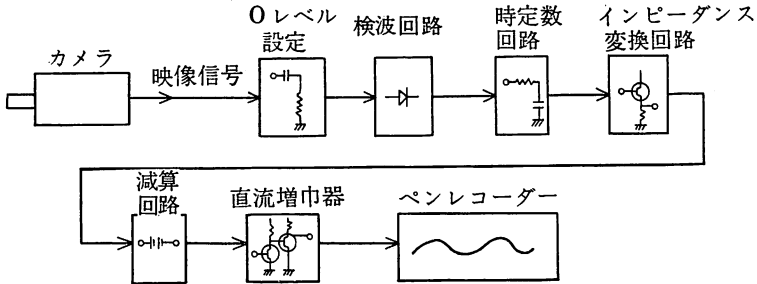
$$V=a(S+b)$$

ここで、 $V$ ：ピーク電圧、 $S$ ：瞳孔面積  $a, b$ ：定数

となる。この考えに基づいた計測装置のブロックダイアグラムを2.9図に示す。

この方式の原理的な欠陥は、高木式の刺激光筒をを取り去って、面積のある刺激パターンを提示する場合と同様のものである。というのは、ビジコンからの出力信号は、同期および帰線消去信号があること、走査方式のために画面一枚分の明るさが数百に分割されて継時的に出てくること、の

2.9図 平均値方式系統図



2点を除けば、ただの光電管の出力に等しいからである。すなわち、瞳孔面積が変化しなくても、眼球が移動すれば、画像の明暗分布が変化して出力電圧が変化することになる。実際には、ビジコンの出力波形には、漂動的な雑音が含まれていて、これが瞳孔変化以上に出力電圧を変動させ、ほとんど使用には耐えないものであった。さらに、この方式に限った問題点ではないが、照明に可視光線を用いることによって生じてくる欠陥を指摘しておこう。

- (1) 照明が刺激としても作用する。
- (2) 刺激光が照明に加わる。

(1)は、照明が可視光線であると、眼球が移動することにより、虹彩に到達する光量に変化が生じて、これに反応して瞳孔が収縮拡大するという点であり、(2)は刺激を変化させると眼球照明も変化することになり、必然的にビジコンカメラの出力波形を変化させるということである。(1)を解決するのは照明上の工夫しかなく、(2)を解決するには、ビジコンカメラの感度を、照明光の波長に限定する他はない。結局、赤外線を使用するのがもっとも望ましいということになる。

次にわれわれが考えた方法は、内藤・石川式で用いられているシュミット回路を、上の装置の前段に置くことであった。内藤・石川式では、シュミット回路の後段は積分回路であり、画像一枚分を積分するために、画像

が変わる度に積分回路をリセットする必要がある。われわれの方式ではシュミット回路の後段はピーク整流回路なので、回路構成がかなり簡単になっている。

シュミット回路への入力波形は、われわれの場合には、2.5 図に示すようなものではなくて、2.7 図のようになるので、出力波形は瞳孔径に比例するパルス以外に帰線消去信号の幅に対応するパルスが加わる。このパルスを消去しないでいても、瞳孔径と最終段の出力電圧との間には、やはり一次関数式が成立し、 $V=c(S'+d)$  となる。帰線消去パルスを消去すると、 $d=0$  になり、 $V'$  と  $S'$  は比例することになる。この式における定数  $c$ 、 $d$  は両方共、装置によって定まり、先の  $V$  と  $S$  との関係式における  $a$  と  $b$  のように、被験者一人一人で変わる定数ではない。これは較正の手間が省けて、大きな利点となる。

映像出力信号を直接シュミット回路に導いても、われわれが望んでいるような波形を得ることは困難である。というのは、われわれが使っているようなビジコンカメラはノイズが多く、出力信号は2.5 図や2.7 図に示すような理想的波形とは全くかけ離れた、乱れた波形をしているからである。中でも、もっともやっかいなことは、このノイズ電圧のために、信号レベルが不規則に上下し、シュミット回路のスライスレベルに、瞳孔が引っかからなくなったり、虹彩がかかったりすることである。このレベル変動は、眼球の移動によるカメラ入射光量の変化によっても生じ、両者が加算されて、シュミット回路が全く役に立たない程である。さらに、瞳孔に対応するパルスは、シンクロスコープによる観察によると、実際にはパルスよりも三角波に近いものであり、そのために、信号レベルが上下すると、スライスレベルに引っかかる瞳孔幅が大きく変化し、たとえ瞳孔が変化しないときでも、ペンレコードには大きな変動が記録されることになる。

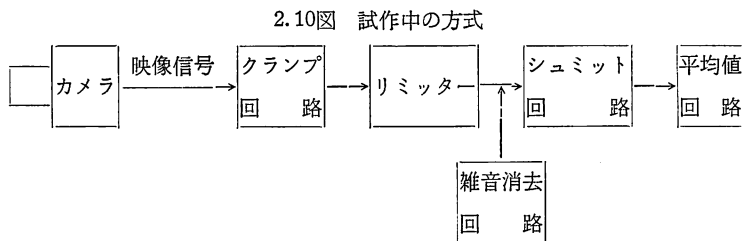
この信号レベルの変動を押えるには、瞳孔のピークを一定に保つ回路を挿入する他はないであろう。これはクランプ回路と呼ばれているものであ



り、われわれは現在この回路の設計を急いでいる。

クランプ回路により信号レベルの変動を押えることができたにしても、不規則なノイズの中にはスライスレベルを越えるものがあり、これによる誤差もかなり大きいと思われる。このノイズを減少させるには、虹彩の附近だけを残して、残りの信号を0にしてしまう方法があるかも知れない。もっとも、ノイズの少ないビジコンカメラが手に入れば、問題はないのであるが……。

以上のことから、最終的なシステムの構成は 2.10 図のようなものを目標にしている。



## 60. 結 び

現段階においては、われわれの瞳孔計は実用段階には到達していない。今後に次のような作業が残されている。

- 1) クランプ回路の構成
- 2) 雑音除去回路の構成
- 3) 照明法の改良

この中の1)と2)とは少なくとも原理的には問題とはならないもので、ビジコンの性能に関係したものである。われわれの意図は入手可能なビジコンを用いた、経済的な瞳孔計を開発することである。3)は内藤・石川式にも生じることで、瞳孔計の性能は照明法によって大きく左右されることが痛感される。

## 〔あとがき〕

われわれは最初、この問題領域における文献を概観し、従来、使用されてきている瞳孔測定装置をわれわれの研究に適切で、かつより簡便なものに改良しようとするわれわれの教室の努力に言及し、最後に、不便で、かつ多量のフィルムを必要とする不経済な方法ではあるが、比較的測定誤差の少ない Hess いらいの装置によって現在進行中の実験の暫定的な結果に言及する予定であった。しかし紙数の都合で到底それらを含めることができないことが判明した。研究者とそのテーマだけを掲げて、その詳細は他の報告に譲らなければならない。この論文の印刷中に松永勝也が聖心女子大で開催された第2回知覚心理学コロキウム(1969)において教室における実験結果の一部を発表した。

高下保幸：刺激パターン内に存在する明度差が瞳孔反応に及ぼす効果について

〃：反転図形の観察中における瞳孔の変化について

〃：ゲシタルトテスト図形を観察中の瞳孔反応について

国武君彦：簡単な暗算を行なっている際の瞳孔反応について

奈良智治：純音の高さと瞳孔反応

松居良枝：音高の弁別と瞳孔反応

養父裕二：広告コピーに対する瞳孔反応

## 参 考 文 献

- Beatty, J., & Kahneman, D. (1966): Pupillary changes in two memory tasks. *Psychonomic Science*, 5 (10) 371-372.
- Bergum, B., & Lehr, D. J. (1966a): Prediction of stimulus approach: core measures experiment: I. Rochester, N. Y.: Xerox Corp., (Research Report R66-8).
- Bergum, B., & Lehr, D. J. (1966b): Prediction of stimulus approach: core measures experiment: II. Rochester, N. Y.: Xerox Corp., (Research Report R66-36).
- Bernick, N., Kling, A., & Borowitz, G. (1968): Pupil size, heart rate and plasma steroid during sexual arousal and anxiety. *Psychophysiology*, 4 (4), 502.
- Bernick, N., & Oberlander, M. (1968): Effect of verbalization and two different modes of experiencing on pupil size. *Perception & Psychophysics*, 3 (5-A), 327-330.
- Bradshaw, J. (1967): Pupil sizes as a measure of arousal during informa-

- tion processing. *Nature*, **216**, 4, 515-516.
- Bradshaw, J. L. (1968a) : Pupil size and problem solving. *Qurt. J. of Exper. Psychol.*, **22**, 3, 116-22.
- Bradshaw, J. L. (1968b) : Load and pupillary changes in continuous processing task. *Br. J. Psychol.*, **59**, 3, 265-271.
- Collins, B. E., Ellsworth, P. C., & Helmreich, R. L. (1967) : Correlations between pupil size and the semantic differential : An experimental paradigm and pilot study. *Psychonomic Science*, **9**(12), 672-628.
- Dooley, R. P., & Lehr, D. J. (1967) : Critique of a pupillary response experiment. *Perceptual & Motor Skills*, **25**(2), 603-6.
- 船津孝行 (1968) : 心的負荷の1指標としての瞳孔反応について, 九州心理学会第30回大会報告.
- 原田富二郎, 松永勝也 (1968) : 瞳孔計について. 九州心理学会第30回大会報告.
- Hess, E. H., & Polt, J. M. (1960) : Pupil size as related to interest value of visual stimuli. *Science*, **132**, 349-350.
- Hess, E. H., & Polt, J. M. (1964) : Pupil size in relation to mental activity during simple problem-solving. *Science* **143**, 1190-92.
- Hess, E. H., (1965) : Attitude and pupil size. *Scientific American*, **212**, 46-54.
- Hess, E. H., & Polt, J. M. (1966) : Changes in pupil size as a measure of taste difference. *Percept. Mot. Shills*, **23**, 451-455.
- Hess, E. H., & Polt, J. M. (1967) : Reply to "Critique of a pupillary response experiment." by Roger P. Dooley and Donald, J. Lehr. *Percept. Mot. Skills*, **25**, 259-260.
- Hess, E. H., Seltzer, A.L., & Shlien, J. M. (1965) : Pupil response of hetero- and homo- sexual males to pictures of men and women : a pilot study. *J. abnorm. Psychol*, **70**, 165-168.
- Hutt, L. D., & Anderson, J. P. (1967) : The relationship between pupil size and recognition. *Psychonomic Science*, **9** (8) 477-478.
- Johnson, H. J., & Campos, J. J. (1967) : The effect of cognitive tasks and verbalization instructions on heart rate and skin conductance. *Psychophysiology*, **4**, 143-150.
- Kahneman, D., & Beatty, J. (1966) : Pupil diameter and load on memory, *Science*, **154**, 1583-1585.

- Kahneman, D., & Beatty, J. (1967) : Pupillary responses in a pitch-discrimination task. *Percept. & Psychophysics*, **2**, 101-105.
- Kahneman, D. (1967) : Construct validity of the pupil response. Paper presented at APA ; Washington.
- Kahneman, D., Beatty, J., & Pollack, I. (1967) : Perceptual deficit during a mental task. *Science*, **157**, 318-219.
- Kahneman, D., & Peavler, W. S. (1968) : Incentive effects and pupillary changes in association learning. *J. exp. Psychol.*, in press.
- Kahneman, D., Tursky, B., Shapiro, D., & Crider, A. (1968) : Pupillary, heart and skin resistance changes during a mental task. *J. exp. Psychol.*, in press.
- Kahneman, D., Peavler, W. S., & Onuska, L. (1968a) : Effects of verbalization and incentive on the pupil response to mental activity. *Canad. J. Psychol.*, **22**, 3, 186-196.
- Lacey, J. I., Kagan, J., Lacey, B. C., & Moss, H. A. (1963) : The visceral level : Situational determinants and behavioral correlates of autonomic response patterns. In P. H. Knapp (Ed.) *Expression of the emotions in man*. New York : Internat. Univ. Press.
- Loewenfeld, I. E. (1966) : Pupil size. *Survey of Ophthalmology*, **11**, 291-294.
- Löwenstein, O. (1920) : Experimentelle Beiträge zur Lehre von den katonischen Pupillenveränderungen. *Monatsschr. Psychiat. u. Neurol.*, **47**, 194-215.
- 内藤誠・石川哲 (1968) : 新方式赤外瞳孔計. *日眼会誌*, **72**, 331, 113-118.
- Nunnally, J. C., Katt, P. D., Dunchnowski, A., & Parker, R. (1967) : Pupillary response as a general measure of activation. *Percept. Psychophysics*, **2**, 149-155.
- Obrist, P. A. (1963) : Cardiovascular differentiation of sensory stimuli. *Psychosom. Med.*, **6**, 450-450.
- 大野新二 (1967) : 瞳孔反応検査法, *眼科*, **10**, 6, 394-399.
- Paivio, A., & Simpson, H. M. (1966) : The effect of word abstractness and pleasantness on pupil during an imagery task. *Psychon. Sci.*, **5**, 55-56.
- Parker, R. K. (1967) : Pupillary response to induced muscular tension. Paper read at APA. Washington, D. C.
- Peavler, W. S., & McLaughlin, J. P. (1967) : The question of stimulus con-

- tent and pupil size. *Psychonomic Science*, **8** (12), 505-506.
- Scott, T. R., Wells, W. H., Wood, D. Z., & Morgan, D. H. (1967): Pupillary response and sexual interest reexamined. *Jour. of Clinical Psychol.*, **23** (4), 433-438.
- Shakhnovich, A. R. (1956): Orientirovochnaia Zrachkovosuzhivaiushchaia reaktsiia na "noviyu" svetovogo razdrazheniia. (Orienting, contracting-of the pupil to "novelty" in photic stimulation. *Fiziol. Zh. SSSR*, **42**, 632-638.
- Sokolov, E. N. (1963): Higher nervous functions: the orienting reflex. *Ann. Rev. Physiol.*, **25**, 545-580.
- Stewart, R. W., & Jensen, D. D. (1966): GSR, pupillary dilation, and response latency to words differing in entropy. Paper read at Midwest Psychol. Assn., Chicago.
- 竹井機器工業 (1968), 高木式瞳孔伸縮度測定器取扱説明書,
- Vacchiano, R. B., Strauss, P. S., Ryan, S., & Hochman, L. (1968): Pupillary Response to Value-Linked word. *Percept. Mot. Skills*, **27**, 207-210.