

UDC 612.84

連載解説

視聴覚の科学とその応用

1. 視 覚 —その1—

樋 渡 涓 二

1. 視覚に関する基礎科学と工学応用

視聴覚に関係する自然科学の分野は、多岐にわたっているが、特に物理学、生理学、心理学の三つがそのおもなるものであろう。中でも人間の視聴覚現象を取り扱う知覚心理学と、動物を用いて視聴覚系の情報処理機構を解明しようとする神経生理学が中核である。いずれにしる視聴覚系は感覚器、(物理刺激を取り入れる受容器)末しょう神経系、中枢神経系にわたる神経回路の総称である。

人間の視覚は五つの感覚系の中でも最も重要なもので、その入力情報量も他の器官に比べてけた違いに大きい。したがって、工学的応用の面でもいろいろ広範にわたる研究があるが、ここでは次の三つを代表的な応用面と考える。

〈1・1〉 照明と色彩 (人間と環境の工学) これは特に説明するまでもなく、人間生活を豊かにするための視覚に関係する工学である。照明は照明工学の分野で、色彩は応用物理学などの分野で発達し、最近では人間工学 (人間-機械系) の分野にも関係が深い。

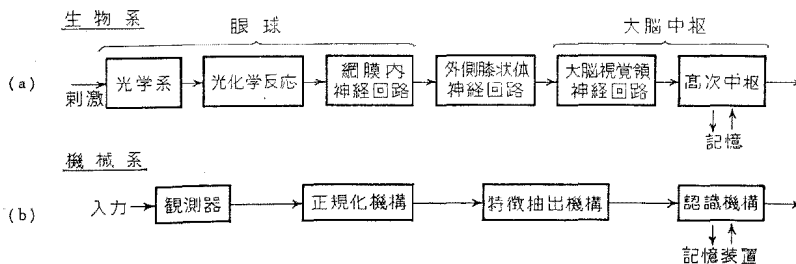
〈1・2〉 視覚情報 (画像) の伝送、記録および処理 (人間の能力拡大の工学) 人間の視覚の拡大を図る

ために生まれた技術の中で、ファクシミリやテレビジョンを直列方式の画像技術とすれば、光学機械、写真、複写機などは並列方式の画像技術である。この方面では伝送系の最終的受容器である視覚の性質が積極的に利用される。

〈1・3〉 視覚情報の識別と認識 (人間の能力代行の工学) 特定の図形を自動的に識別するとか、文字を機械に読ませるといった技術は、人間が行なっていることを機械に代行させようとするもので、このような機械の開発には、生体の視覚系の内部機構を参考にすることがある。

視覚を情報伝送系の末端受容器として、物理刺激に対する反応を問題とする限り、視覚の知覚心理学的な性質を問題とすればよいが、視覚を情報処理系と考え、その内部機構を問題とする場合には、さらに神経生理学的な構造を問題としなければならない。上記〈1・3〉節の場合は明らかにこの場合である。なお、第1図 (a) は視覚系を示す構成図で、(b) 図はこれに相当する仮想的機械系である。

視覚系が扱う情報は、主として空間情報である点が聴覚と異なる点である。視覚系における時間のファクタは空間情報と関連して意味をもつにすぎない。いま視覚と聴覚について芸術、伝送、記録といったものの



第1図 視覚系とこれに対応する機械系

第 1 表 視聴覚に関する芸術, 伝送, ア記録技術

	情 報	芸 術	伝 送	記 録
視	空間情報	{ 文 字 絵 画 形 刻 }	{ 光学機械 ファクシミリ ホログラフィー }	{ 写真, 印刷 電子写真, 複写機 ホログラム }
	二次元			
	三次元			
覚	時間情報を含むもの	(影 絵) 舞踊, 演劇	テレビジョン 立体テレビ	{ 映 画 V T R 立体映画 }
	二次元			
	三次元			
聴	時間情報 (一次元)	{ 音 声 音 楽 }	電話, ラジオ ステレオ放送	録音再生 立体録音再生
	空間情報を含むもの			

実例をあげると第 1 表のようである。画像の処理は伝送や記録系にもいはってはいが、図形認識装置といった厳密な意味での処理装置は現在のところ二次元の空間情報に一部実現されているにすぎない。

本文は、上記の三つの工学応用に必要な視覚系の基本的な心理・生理学的諸性質を展望するのが目的であるから、視覚系のすべてを紹介するつもりはなく、またその任でもないことをあらかじめお断わりしておきたい。

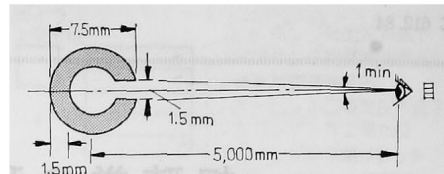
2. 視知覚における空間的要素と時間的要素

視覚情報をつくっているものは、形、明暗、色、点滅、動きなどであるが、これを便宜上次のように分けて考える。

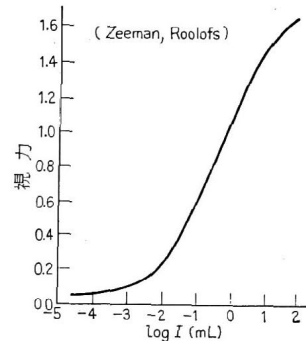
- (1) 空間的要素 { 輝度情報 形、明暗
色度情報 色 }
- (2) 時間的要素 点滅
- (3) 時空間的要素 動き

また視細胞のような受容器から大脳中枢にいたる間に、視覚情報は次第に高度の処理が行なわれていると考え、これも便宜上

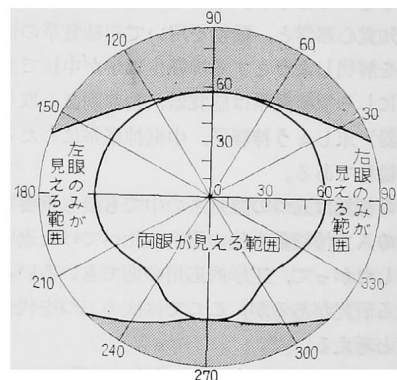
- (1) 感覚 光があるとか (明暗) 色があるとか (色感) というような光感覚。
 - (2) 知覚 形、大きさ、方向、白黒、距離といったものを弁別する能力。
 - (3) 認識 文字や図形の意味を判断する能力で、後天的な学習が大きく影響しているもの。
- というように分類しておこう。(1) は受容器そのものでおおよそ決定され、(2) はそのあとの神経情報処理回路によってつくられ、(3) はさらに学習、記憶といった視覚系以外の中枢が協同して得られるものとあいまいな定義をしておく。



第 2 図 視力 1.0 の条件のランドルト氏環



第 3 図 明るさと視力との関係



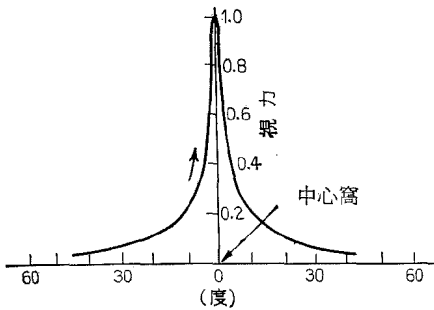
第 4 図 視野

3. 視覚における空間的要素

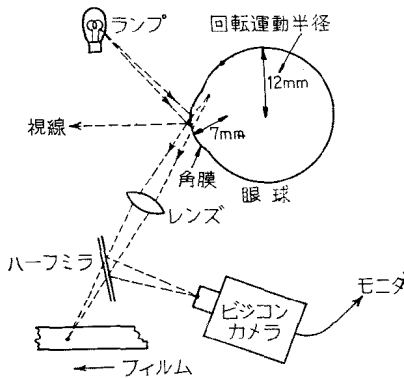
〈3・1〉 形の知覚^{(1)~(5)}

(a) 図形の輪郭の知覚 形を知覚するには物体の輪郭を明りょうに大脳に伝える能力が必要で、昔から視力 (Visual acuity) が尺度として使われている。これは光学における解像力 (分解能) に対応するもので、測定は国際的にランドルト氏環が用いられている。視力はランドルト氏環の切れ目がやっと弁別できる視角 (分) の逆数で表わされ、視力 1.0 の条件を第 2 図に示す。視力は第 3 図に示すように、ある範囲では明るさの対数に比例する。

人間の視野は両眼とも上下左右に 60° の広さ (第 4 図) をもっているが、網膜上の部位と視力との関係は第 5 図に示すように、中心窩 (か) 付近のみすぐれてお



第5図 視力分布



第6図 テレビジョン・アイカメラの原理

り、少しくずれると急激に低下する。そのため、人間は外界を知覚するためにたえず眼球運動を行なっている。眼球運動を追跡する最も簡単な方法は、かく膜に斜め方向から光をあてて、その反射光の角度が眼球の運動とともに変化することを利用すればよい。⁽⁸⁾

第6図はテレビジョンを用いたアイカメラの原理である。

さて、光学のほうではレンズの解像力の代わりに最近ではレスポンス関数 (Modulation transfer function) が使われているが、この考えを視覚の光学系および視知覚にも応用して、視覚系のレスポンス関数が測定されている。⁽⁹⁾ これは電気伝送系における時間と周波数を、二次元の空間 (x, y) と空間周波数 (Spatial frequency, μ, ν) に拡張し、空間周波数特性を求めることにはかならない。この特性を測定することにより、レンズの解像力、収差、フレヤ、その他の性質がすべて含まれたものが、各空間周波数域の特性として得られる。視知覚に対しても心理物理的に測定でき、視力、輝度弁別などが同一曲線上に表わされるだけでなく、視覚を画像伝送系末端器として取り扱う場合、伝送系とのつき合わせ上便利であり、さらに視覚神経系の情報処理機構を探る研究に対しても、重要な情報を提供する。

視覚のレスポンス関数を測定する場合、普通被験者には一次元に輝度変調されたパターン

$$B(x) = \bar{B}(1 + m \cos 2\pi \nu x) \dots \dots \dots (1)$$

\bar{B} : 平均輝度, $m = \Delta B / \bar{B} = (B_{\max} - B_{\min}) / (B_{\max} + B_{\min})$, ΔB : 変調振幅

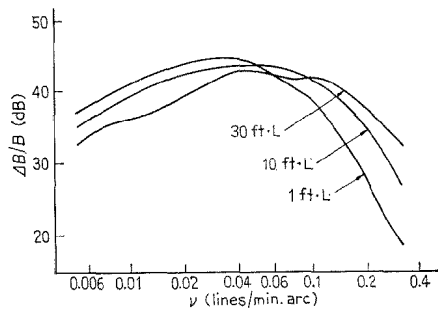
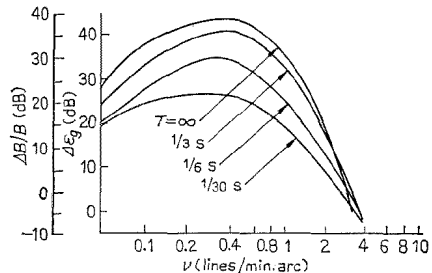
が用いられ、 \bar{B} や ΔB を変えた場合の特性の変化が測定されているだけでなく、ここに時間的因子を加えた場合、たとえば刺激パターンとして運動する正弦波

$$B(x, t) = \bar{B}\{1 + m \cos 2\pi \nu(x - vt)\} \dots (2)$$

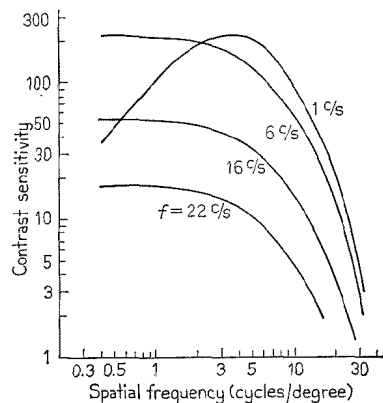
短時間露出、すなわち

$$B(x, t) = (1 + m \cos 2\pi \nu x) \delta(t, T) \dots (3)$$

ここに、 $\delta(t, T)$: 期間 T の方形パルス

(a) B に対するレスポンス

(b) 提示時間に対するレスポンス



(c) 時間周波数に対するレスポンス

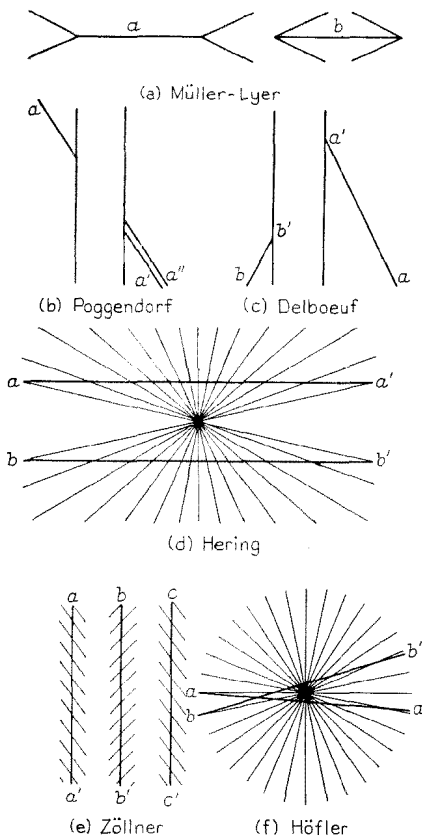
第7図

や、あるいは

$$B(x, t) = (1 + m \cos 2\pi \nu x \cos 2\pi f t) \dots \dots \dots (4)$$

のような刺激パターンに対する特性が得られている。これらの時間因子を含むレスポンス関数は、映画やテレビジョンのような動く画像に対する目の特性を与え、一方、網膜内神経回路のモデル構成に役だつ。以上の視覚のレスポンス関数の諸例を第7図にまとめて示してある。

視覚対象の輪郭を知覚するのに、眼球運動が必要であることは前に述べたが、眼球運動を止めた状態での視覚のレスポンス関数は、明らかに感度が 10 dB 程度低下することが知られている。⁽¹¹⁾ ところが、眼球運動を止めても、なお眼球は Ocular tremor と称する 30 ~ 80 c/s 程度の微震動を行なっている⁽¹⁰⁾ のであって、適当な方法でこれも止めてしまうと、物の輪郭の知覚を失うという事実がある。



- (a): 線分 $a=b$ なのに $a>b$ に見える
 (b): a の延長は a' なのに a'' のように見える
 (c): bb' の延長は a' なのにそれより下に見える
 (d): (f): aa' , bb' は直線なのにすべて曲って見える
 (e): aa' , bb' , cc' は平行なのに平行でないように見える

第8図 各種の錯視図形

(b) 幾何学的要素 視知覚においては、対象物の物理的寸法に比例しない場合が少なくなく、その代表例は錯視 (Illusion) と呼ばれる一群の現象⁽³⁾⁻⁽⁵⁾である。ここでは静止図形に話を限るが、第8図に示す例はあまりに有名である。物理的寸法に対する心理的寸法は測定できるのであって、その量 (錯視量) は多くの心理学者によって測定されている。問題は錯視がなぜ生ずるかという機序であるが、これはまだ正確にはわかっていない。

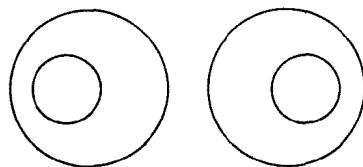
網膜にある図形が刺激として与えられると、その周囲に向かってある種の波が発生し、図形の回りに場ができることが本川氏によって証明されている。これは網膜誘導 (Retinal induction) 波および場と呼ばれている。⁽⁴⁾ この波は生理的なものであるが、あたかも物理的な波のように反射、屈折、回折を行なう。この場合は視知覚に関係が深く、場の発生状況によって錯視が生ずると考えるのである。場の強さは本川氏の手法によって測定できる。これは人間の目の付近にはられた電極に微弱電流を通じ、それが目に感ずる“いき値”を指標とする方法である。第8図 (a) の Müller-Lyer の錯視図形における誘導の場は、第9図のようで、中の線分の長さと同じでも、その先についている枝によって全体的な場の広がりパターンに差が生ずることが、錯視の原因であると考えられるのである。

(c) 立体視 遠近の知覚は両眼のためであると簡単に考えがちであるが、実際はもっと複雑である。

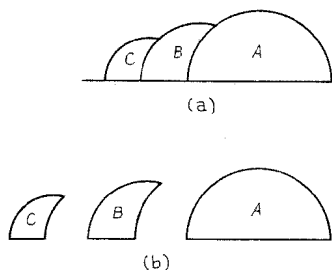
眼の生理機能に関係がある直接的条件としては、眼の調節作用、(水晶体の焦点距離の制御) 両眼の幅奏と分散、両眼視差 (第10図を立体鏡にかけて見ると内円のほうが遠くに見える) などがあるが、心理的に単眼でも立体感を感じる要因は非常に多い。このようないわゆる経験的条件としては、網膜像の相対的な大きさ、遠近法的な配置、被遮蔽の関係、明暗陰影ばけ



第9図 Müller-Lyer 図形刺激による網膜の電界の実測結果 (本川, 小川)



第10図 両眼視差と立体視 (これを立体鏡で見れば内円のほうが遠くに見える)



第 11 図 平面図形における立体視

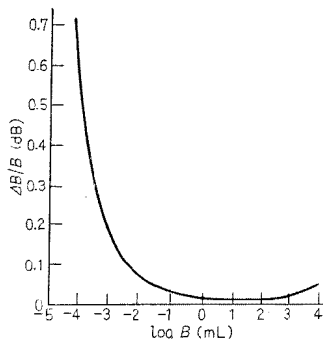
ぐあい、対象または観察者の移動による位置関係の変化などによって遠近が感じられる。⁽³⁾⁽⁵⁾

第 11 図 (a) のようなものは (b) 図のような三つの図形の集合であるのに、半円 A, B, C が次第に後にあるかのように知覚する。いま (a) 図の A, B, C の内部の誘導の場の強さを測定すると、A→C の順に場が強くなっていることから、このような心理的現象は、必ずしも経験によるものとは限らないことがわかっていてる。⁽⁴⁾

〈3・2〉 明暗に関する要素

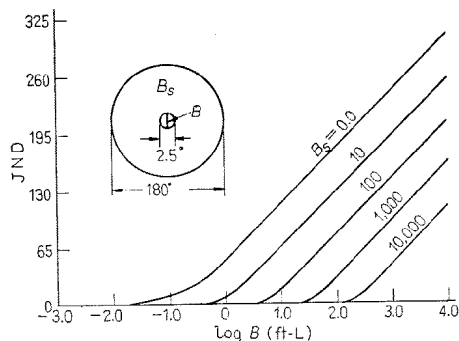
(a) 明るさと暗さ 光の受容器にはすい体 (Cone) とかん体 (Rod) があり、前者は明るいときに働き、(すい体視, Photopic vision) 後者は暗いときに働く。(かん体視, Scotopic vision) 人間の目の光覚閾は、10~12 時間も暗室においた目(暗順応眼)で、0.000001 mL (ミリランバート) 以下。一方、光覚の最大値は 100,000 mL 以上といわれているので、その範囲は 10^{11} にも及ぶ。^{*}(1) すい体とかん体の切りかわりは、おおよそ 0.01 mL である。また光が急に明るくなったり、暗くなったりしても、次第に順応(明, 暗順応)する性質がある。

明るさの差の識別は、ある輝度 B に対し、ちょうど識別しうる輝度差 (j. n. d.; just noticeable difference)

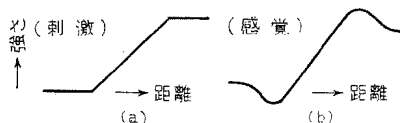


第 12 図 明度識別閾

*: 日常の経験では 10^6 程度、なお目の瞳孔の変化はわずか 8:1 にすぎない。



第 13 図 背景による明るさの感度の変化 (Lowry)



第 14 図 マッハ現象

ΔB を求めたときの明度識別閾 $\Delta B/B$ で表わす。 $B \approx 10 \sim 10^4 \text{ r} \cdot \text{lx}$ の範囲では、 $\Delta B/B = \text{一定}$ (Weber-Fechner の法則) であるが、この範囲外では一定にならない。(第 12 図) Stevens 氏によれば、一般に感覚 S は刺激 ϕ に対し、 $S = k(\phi - \phi_0)^n$ (ただし ϕ_0 は閾値) で明るさの感覚は $n = 0.33$ であるという。

(b) 白と黒 明るい部分が暗い部分に囲まれると白の感覚、また逆の場合は黒の感覚が生ずる。また同じ灰色の指票でも、背景が白い場合と黒い場合とでは異なる明るさに見え、前者の場合のほうが後者に比べて黒く見える。このような現象を同時対比効果という。明度識別いき値は指票の背景の明るさで変化する。(第 13 図)⁽¹²⁾ また、輝度分布が第 14 図 (a) のようなパターンを見ると (b) 図のように感ずる。(マッハ現象)

このような一連の現象は、視覚神経系に横の連絡があることを示す。Hartline 氏はすでに「かぶとがに」のような原始動物の複眼の神経にも、横のつながりがあり、互いに相手の神経の働きを抑制していることを示した。⁽¹³⁾ これを Lateral inhibition という。高等動物の網膜内にも水平細胞やアマクリン細胞のような横にひろがる細胞が存在する。この相互抑制回路によって光で刺激された部位の周囲が抑制され、前記のような諸現象を呈するものと考えられる。視覚の空間正弦波レスポンス (レスポンス関数) が低域で下がっているのは、上記の効果を示すもので、いま正弦波パターンをきわめて短時間露出した場合の曲線を求めると、低域の低下が消失すること⁽⁹⁾や、別の生理学的な

実験からも、抑制効果が生ずるまでに若干の時間遅れがあることが示されている。

黒から白までの明度段階の尺度構成（指票の反射率 R に対する明るさの感覚 V ）については、多くの心理学的研究による近似式、たとえば改良マンセルの式

$$R = 1.2219 V - 0.23111 V^2 + 0.23591 V^3 \\ - 0.021009 V^4 + 0.0003404 V^5 \\ \dots\dots\dots (5)$$

などがあり、背景照度を加味した近似式、たとえば Judd の式

$$V = \frac{10 R(R_0 + 1)}{R + R_0} \dots\dots\dots (6)$$

R_0 : 背景反射率

などが提案されている。明るさの感覚尺度は j. n. d. によるもの、間隔尺度、比例尺度によるものが一致しない。これは明るさの感覚が Prothetic continuum といわれる性質のもののためで、その原因はつまびらかではない。

〈3・3〉 色に関する要素⁽⁷⁾ 色に関する心理・生理学的研究は多いが、まず色覚の発生に関しては、最近3色説、反対色説などの多くの古典的仮説を実証するような幾つかの生理的事実があげられている。たとえば Mark、富田氏らは、魚類のすい体細胞から3色説を思わせる R, G, B の三つの波長に最大感度をもつレスポンスを得ており、⁽¹⁴⁾ 一方、de Valois氏⁽¹⁵⁾ Hubel、Wiesel氏ら⁽¹⁶⁾により猿の外側膝状体から反対色説を思わせる色に関する受容域が発見されている。受容域 (Receptive field) とは、網膜から出ている視神経1本が担当する視細胞層の範囲をいい、これを外側膝状体からみるとほぼ円形で、たとえば円の中心部からは赤色光に対して出力パルスが得られ (ON 形)、円の周辺部からは緑光に対して抑制的である (OFF 形) といった互いに補色関係が成立するような生理作用がみられた。⁽¹⁷⁾ 網膜からの出力は明るさと色とはそれぞれ別系統に扱われていることが推測され、現在のカラーテレビジョン方式を思わせるものがある。

色の感覚は物理的には光の波長に関係するが、光の物理的性質と色の感覚との心理・物理的關係は、一義的に決まらないために両者を結ぶ表示法が考えられ、これを混色系の表色系（たとえば CIE）という。一方、純粋に心理的に等間隔な3属性、すなわち色相、彩度、明度を表わすマンセル系のような表色系を顕色系という。カラーテレビジョンの設計などに前者を、室内配色などには後者が使われている。⁽⁷⁾

色に関する心理・物理的な問題としては、まず波長に対する目の感度については、視感度曲線や3刺激値

曲線、あるいは波長に対する色の識別閾（色差）などは周知であろう。しかし実際の色彩画像などを見るときの色感覚は、画像を構成している時空間要素や、室内照明などによって変動し、色順応や色対比（同時および継時）などの心理現象が介在するので非常に複雑である。ちょうど前節に述べた明るさの対比と同じように刺激の色の補色の色がその回りに場を作り、色についても網膜誘導で説明される多くの現象がある。⁽⁴⁾

明るさを一定としたときの色のみに関する特性は、明るさの成分を除去することが一般に容易ではないのでデータが少ないが、明るさの場合に比べ視力や色の弁別ははるかに悪い。たとえば、指票が次第に小さくなると、先に色感覚が失われ、眼球運動や微震動を止めるとやはり色に対する識別力を失う。

一方、色は感情に与える影響が強く、感情効果に関する心理学的な研究も多い。

4. 視覚における時間的要素⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾

純粋に時間的な刺激は視覚情報とはなりにくいものであるが、時間的な変化刺激に対する視覚の応答についての知識は工学上必要である。正弦波または方形波状の連続的な刺激に対し、眼はその周波数を増すとやがてちらつき (Flicker) が感じなくなるが、そのときの周波数をちらつき値 (Critical Fusion Frequency, CFF) という。CFF は光の強さの対数値に比例し、(Ferry-Porter の法則) かつ融合したあとの明るさは刺激の平均値に感ずる。(Talbot-Plateau の法則)

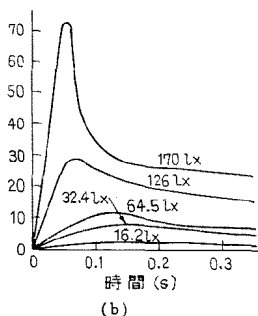
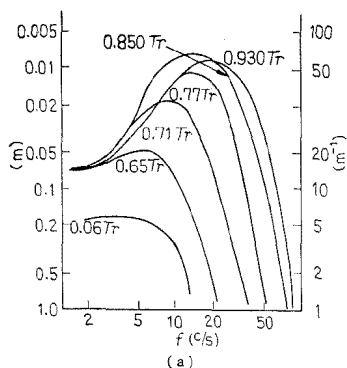
一方、一定の輝度レベル \bar{B} の上に変調された正弦波 (振幅が ΔB) すなわち

$$B(t) = \bar{B}(1 + p \cos 2\pi ft) \dots\dots\dots (7) \\ p = \Delta B / \bar{B}$$

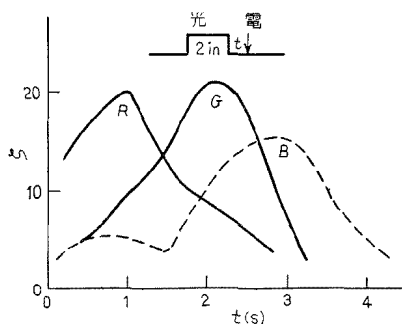
を見せ、 ΔB を調整してちらつきをちょうど感じなくなったときの p を各周波数について求めると、第15図 (a) のような曲線が得られる。⁽¹⁸⁾ 図に示されているように \bar{B} が上昇するほどピークが増す。このような曲線は神経生理学的にも得られる。(Brücke-Bartley 効果)

次に急激にステップ状に光を与えた場合の感覚は、やはり数十ミリ秒後にオーバシュートを生ずる。[第15図 (b) Broca-Sulzer 効果]⁽¹⁴⁾ 頂点に達する時間は光が強いほど早い。光を急激に消したあとの状態はかなり複雑で、いわゆる残像が残るが、これは単調に減少せず何度か上下に振動する。

光を消したあとの網膜誘導の変化は、色に対し特徴的な変化がある。本川氏によれば光照射後の感電性は、第16図のように R は1秒後、 G は2秒後、 B は3秒



第 15 図 視覚の時間的要素



第 16 図 人の網膜の色過程 (本川)

後に最大感度を持つ。⁽⁴⁾これは色により情報伝達時間に差があることを暗示する。白黒の時間的に変化するパターンから色を感じずる事実は、ベンハム (Benham) のこまで有名であるが、適当な時間間隔で提示された二つの白光刺激から、色光に対するものと同様の感電性が得られている事実がある。前に述べた正弦波に対する周波数特性を微細に観察すると、高輝度の場合、曲線に三つの凸部が存在し、色に関係するものであることがわかっている。⁽¹⁸⁾

5. 視覚における時空間的要素⁽²⁾⁻⁽⁵⁾

光刺激が時空間的に変化するときの視覚現象は、複

雑かつ興味あるものである。

まず、小さい指票 (面積 A) を短い時間 (t) 露出したときの明るさの感覚 (B) は、 A または t との間に次の古典法則がある。すなわち

$B \cdot t = \text{一定} (t < 50 \text{ ms, Bunsen-Roscoe の法則})$

$B^2 \cdot t = \text{一定} (t > 50 \text{ ms, Pieron の法則})$

$B \cdot A = \text{一定} (\text{視角 } 6 \sim 40 \text{ 分, Ricco の法則})$

$B^2 \cdot A = \text{一定} (A \text{ がやや大のとき, Piper の法則})$

A, t が大きくなると B はこれらに依存しなくなる。

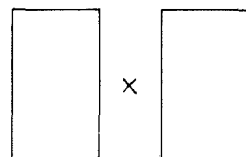
さて、適当に離れた 2 点 (距離 d) に小光点 a, b をある時間間隔 (Δt) で継時的 ($a \rightarrow b$) に露出すると、(1) 適当な $d, \Delta t$ では光点が a の位置から b の位置に実際に動いたように見える。(仮現運動, Apparent movement の β 運動), (2) 適当な $d, \Delta t$ のもとでは、 d が実際の値より大きく、または小さくみえる。 d が大きいと短縮、小さいと伸長してみる。(τ -効果), (3) d が大きいと Δt は実際の値よりも長く感じ、小さいと短く感ずる。(s-効果)

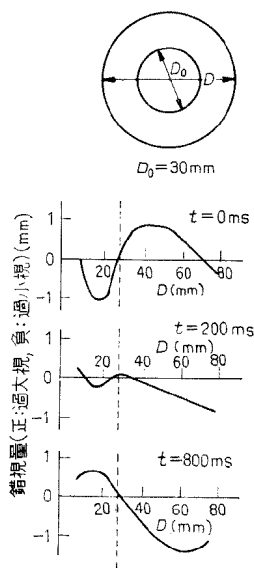
図形が複雑になると現象も複雑になる。長く曲った線を見つめてから直線を見ると、曲って見え、(Gibson 効果) 第 17 図の中央 \times 印を凝視し、一方の四角をあらかじめ隠しておき、突然カバーを取り去ると、隠しておいたほうの図形が輝き、大きくかつ前方に見える。(Köhler 効果) 同時に提示された同心円の一方の円 (直径 D_0) を固定し、他方の円の直径 (D) を D_0 の前後に変えると D の過大過小視が起きるが、二つの円を継時的に露光すると過大過小視が前者の場合と全く違って生ずる。⁽¹⁹⁾ (第 18 図) これらの現象は、一般に図形残効 (Figural after effect) と呼ばれている。また面図形と線図形とを繰り返して提示すると、線図形で囲まれた面図形は消失する。(輪郭線効果)

以上は図形そのものは空間的に動かない場合であるが、動く場合にも種々の現象が見られる。たとえば、図形の運動がやっと知覚される速度の“いき値”は、静止図形併存する場合は 1~2 分/秒であるが、単独の場合はその 10~20 倍にもぶく。また運動図形が大きいとのろく、小さいと早く感ずる。(ブラウンの法則) 運動図形が急に止まるとしばらくは反対方向に動いてみえる。(運動残像)

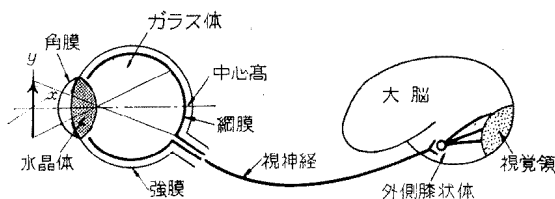
これらの視覚現象を見ると、視知覚は時空間的な物理刺激に対し、生体内で何らかの変容を受け、そのあ

第 17 図 Köhler 効果

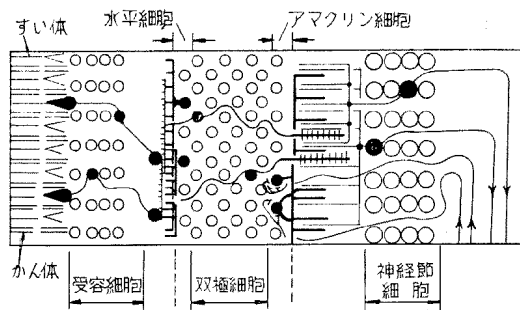




第 18 図 図形残効と過大過小視(小保内, 小川)



第 19 図 視 覚 系



第 20 図 網膜断面の模式図 (Pedler)

とで知覚判断が下されると考えられる。この変容は先天的な生体固有のもので、視覚神経組織のどこかで行なわれているわけで、心理学はこの変容のしかたに法則性を見い出そうとし、生理学はその原因をつきとめようとしている。

錯視や図形残効のような視知覚特有の現象は、かなり網膜のレベルでも説明でき、神経構造とその生理作用および網膜誘導である程度の説明がなされているが、ここには省略する。

6. 視覚の生理学的基礎

通常、視覚系といわれるのは第 19 図の眼球、大脳視覚野および両者を連絡している神経(途中で外側膝状体なる中継所がある)ならびに眼球運動などをつかさどる制御系などをさす。

光が網膜にあたるまでは幾何光学的であり、レンズ(水晶体)の屈折率、収差、その他の光学的定数、ガラス体中の光の散乱、さらに網膜表面における点像分布関数などが測定されている。⁽²⁰⁾ Flamant 氏によれば、これは $h(x) = e^{-0.71x}$ で近似される。空間周波数特性も測定されており、おおよそ 0.1 lines/min の空間周波数でレスポンスは 1/2 になる。この値は心理・物理的に測定された値より若干低い。

光がすい体やかん体にはいると物理光学的な考慮が必要となる。網膜に入射する光の角度によって光覚が異なるという事実(Stiles-Crawford effect)を説明する

ために、多くの人が誘電体導波管モデルをたて、⁽²¹⁾ さらに Enoch 氏は実験的に導波管で生ずるモードパターンを観測した。

視細胞からは 3 色説を支持するレスポンスが得られているにもかかわらず、3 種の色素が発見されていないことから、色分析は物理光学的に行なわれるのではないかと考えられている。

視細胞内における光化学反応についても生化学的な研究があり、さらに電気信号に変わるあたりはあまりよくわかっていない。第 20 図は網膜断面の模式図であるが、ここに情報の主伝送路は受容細胞(RC)-双極細胞(BC)-神経節細胞(GC)である。ところが RC-BC 間には水平細胞(HC)、BC-GC 間にはアマクリン細胞(AC)が存在し、それぞれ生理的な作用があると考えられている。事実、HC や AC から光刺激に依存して変わる緩電位が発生する。これを S-電位という。⁽²²⁾

1 個の GC に結線される RC の範囲があって、これを受容域ということはすでに述べた。この作用はあたかも Hering 氏の反対色説を肯定するようなもので、また対比効果の原因とも考えられる。S-電位を発生する HC や AC が主伝送系(RC-BC-GC)に対し、いかなる作用を及ぼしているかはあまりつまびらかではないが、一種のフィードバックを行なっているという説がある。⁽²³⁾

網膜の段階では、外界の刺激の特徴を抽出するのにじゅうぶんの作用はないが、基本的な心理・物理特性

や錯視などに関係が深い。一方、視覚領においては外界の特定の図形にそれぞれ反応する数多くの検出器が存在していることがほぼ明らかになった。⁽¹⁶⁾

図形を識別するための補助器官である眼球運動、幅奏開散運動、調節作用、絞りの開閉などは、すべて自動制御系と考えられ、その伝達関数などが調べられている。

文 献

- (1) S. S. Stevens: Handbook of Experimental Psychology, (1951) John Wiley & Sons, Inc.
- (2) S. H. Bartley: Principale of Perception (1958) Harper & Brothers
- (3) W. Metzger: Gesetze des Sehens (1953) Verlag von Waldemar Kraner
- (4) 本川: 大脳生理学 (昭39) 中山書店
- (5) 高木・城戸: 実験心理学提要 第2巻 (昭33) 岩波書店
- (6) 心理学事典 (昭32) 平凡社
- (7) 色彩ハンドブック (昭37) 南江堂
- (8) 渡部, 他: NHK 技術研究 17, 1, 4 (昭40)
橋渡・渡部: 臨床科学 2, 10, 1403 (昭41)
- (9) 橋渡・渡部・森・長田: NHK 技術研究 16, 1, 38 (昭39)
森・渡部・山口: NHK 技術研究 18, 2, 79 (昭41)
森: 心理学研究 35, 1, 37 (昭39)
渡部: テレビジョン学会誌 20, 11, 730 (昭41)
- (10) R. W. Ditchburn & B. L. Ginsberg: Nature 170, 36 (1952)
L. A. Riggs, et al.: J. Opt. Soc. Amer. 127, 65 (1953)
R. M. Pritchard: Canad. J. Physiol. 14, 67 (1960)
M. B. Clowes & R. W. Ditchburn: Optica Acta 6, 252 (1959)
- (11) 渡部: 昭 41 連大, 1433
- (12) N. W. Taylor: Illum. Engng 57, 177 (1962)
E. M. Lowry: SMPTE 57, 187, 57 (1951)
H. Grosskopf: Vision Res. 3, 457 (1963)
J. C. Stevens & S. S. Stevens: J. Opt. Soc. Amer. 53, 3, 375 (1963)
T. Kaneko: Acta Chromatica 1, 3, 103 (1964)
- (13) F. Ratliff, et al.: J. Opt. Soc. Amer. 53, 1, 110 (1963)
W. Reichardt & G. M. Ginitie: Kybernetik 1, 4, 155 (1962)
K. Kirschfeld & W. Reichardt: Kybernetik, 2, 2, 43 (1964)
- (14) E. F. MacNichol, Jr: Vision. Res. 4, 119 (1964)
- (15) R. L. de Valois: J. Opt. Soc. Amer. 56, 7, 966 (1966)
- (16) T. N. Hubel & D. H. Wiesel: J. Neuro Physiol. 29, 6, 1115 (1966)
- (17) R. W. Rodieck: Vision Res. 5, 583 (1965)
D. H. Hubel: Sci. American 209, 5, 54 (1963)
- (18) D. H. Kelly: J. Opt. Soc. Amer. 51, 4, 422 (1961)
H. de Lange Dzn: J. Opt. Soc. Amer. 48, 11, 777 (1958)
- (19) H. Ikeda, T. Ohonai: J. Psychol. Res. 2, 17 (1955)
- (20) M. F. Flamant: Revue D'Optique 34, 9, 433 (1955)
D. W. Demott: J. Opt. Soc. Amer. 49, 6, 571 (1959)
J. Kravskopf: J. Opt. Soc. Amer. 52, 9, 1046 (1962)
G. Westheimer & F. W. Campbell: J. Opt. Soc. Amer. 52, 1040 (1962)
- (21) A. C. Schroeder: J. Opt. Soc. Amer. 56, 945 (1960)
J. M. Enoch: J. Opt. Soc. Amer. 53, 71 (1963)
G. Biernson & D. J. Kinsley: IEEE Trans Microwave Theory Tech. 13, 345 (1965)
- (22) K. L. Naka & W. A. H. Rushton: J. Physiol. 185, 536 (1966)
- (23) J. E. Dowling & B. B. Boycott: Proc. Roy. Soc. B, 166, 80 (1966)