

# 特別講演 (II)

## 視力検査の基礎と臨床 (図15, 表8)

大 島 祐 之 (東京)

研究協力者

本村 幸子	中野 秀樹	能勢 晴美	白杵 祥江	河野 恵子	石橋 康久
長沢 徳子	松本雄二郎	寺内 将人	山内 啓子	坪井 一穂	武井 一夫
関根 康生	福田 右子 (筑波大学)				
高垣 益子	篠田 茂 (東京)	榎本 辰男 (横浜)			

### Visual Acuity Testing

—the Basis and the Clinical Application—

Sukeyuki Oshima

*Tokyo*

---

#### 要 約

視力検査は眼科臨床での最も基本的な検査であり、眼科慣用の方式を範として視力検査が社会医学的に広く行われているのに鑑み、関連の問題を分析した。視覚の代表とも受け取られる視力の鋭敏さの極限は心理物理的すなわち自覚的方法により捉えられ、現在の他覚的方法で捉える視力は自覚視力と同じチャンネルを経たものか否かの問題がある。視力の本態解明には、ミクロン単位の網膜の場における光学的情報が高位中枢にどのようなパターン情報になって伝達され意識されるかが重要である。視力の最も正確な測定法と目される推測法を解説し、その理論やそれによる実験から誘導された知見が臨床的な視力検査に活用されていることを述べた。また視力検査基準に触れ、かつての視力班基準における Landolt 環の寸法許容差が必ずしも遵守されていない背景や、1909年以来、最近の ISO 案を含めて国際的な視力検査基準化について問題点を三大別して述べた。(日眼 91:27-47, 1987)

キーワード：視力, 視覚, 推測法, Landolt 環, 基準化

---

#### Abstract

The measurement of visual acuity is the most fundamental test in clinical ophthalmology. On the other hand numerical values of visual acuity, expressed in decimal system, is popularized so throughout in Japan as to be spoken by school children, and the visual acuity test being practised for mass examination, aptitude test, driver's licence, etc. follows the pattern of the testing employed routinely in ophthalmological practice. In this paper the problems concerned with the visual acuity testing basically and practically. Acuteness of vision is appreciated psychophysically, i. e. by means of the subjective method of examination. The objective method, in which optokinetic nystagmus or visual electric response is often applied, does not give a information in accuracy superior to the subjective one and cannot be guaranteed that the results will be equivalent because they may be channeled

---

別刷請求先：104 東京都中央区晴海 3-5-7-213 大島祐之

Reprint requests to: Sukeyuki Oshima, M.D. 5-7-213, Harumi 3-chome Chuo-ku, Tokyo 104

(昭和61年9月30日受付) (Accepted September 30, 1986.)

through different neural circuits. Reasonable explanation is given about the formation of the optical image of a target of liminal size on the retina, and how each receptor is excited thereby. However, although neurophysiological progresses were achieved in recent years with regard to the transfer mechanism of information through the visual pathway, they cannot explain yet in what manner liminal image information is transmitted into the visual cortex. From the phenomological standpoint based on the psychophysical findings the visual acuity testing is intended to measure the keenness revealed by the liminal visual angle of a test object resolved. The frequency-of-seeing method initiated by Lythgoe and supplemented by Oshima is seemed to be the most accurate method to evaluate visual acuity. Though the clinical application of the method itself is too complex to be practised, the basic principle and the results deduced therefrom are applied to the clinical method of visual acuity testing, e. g. in the preferential looking method. The visual acuity test practised in each country is not always same in detail. The international standardization of the test method and the designation of visual acuity is a problem in long standing, in spite of several propositions put forward since XI International Congress of Ophthalmology in 1909. Japanese domestic standard of visual acuity test elaborated by Vision Research Group in 1964 proposed allowances of the size of the Landolt's ring as a standard test object, but the norm is not always kept in the commercially available test chart made from various kinds of material in use nowadays. Recently International Standard Organization (ISO) proposed a new draft of the visual acuity test standard containing some problems, which were discussed from the practical point of view. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 91 : 27—47, 1987)

**Key words:** visual acuity, vision, frequency-of-seeing, Landolt's ring, standardization

## I 緒 言

視力検査は眼科における最も基本的な検査であり、視力値が眼科臨床での最も重要な基礎データとして使われている割には、視力についての掘り下げた関心が近年の眼科領域では薄れてきている感がある、眼科学の進歩がより高度の研究や技術開発に関心を向けさせている一方、現行の視力検査は、海外においては主として Snellen (1862)<sup>1)2)</sup>方式あるいはそれから派生した様式が、わが国では Hess (1909)<sup>3)</sup>が纏めた国際的合意を基に石原 (1910)<sup>4)</sup>が国情に合わせて広めた様式が基幹とされ、眼科学が近代医学のなかで独立、分科した黎明期ころの方式が、大筋において慣行されているためもあってか、視力検査は分かり切ったこととして片付けられている傾向がなくもない。しかし一方、視力の数値は、小学生でも口にする程に世間一般で馴染まれて使われており、学校保健を含めた集団検診、運転免許を含めた適性検査その他で汎用されている視力検査は、眼科臨床で行われている方式を規範としてきている事情もあるし、また視力検査の基盤となる種々の知見が近年えられており、古くして新しい問題ともいえる視力をとりあげるのも意義あることと思われる。

## II 視覚と形体覚

### 1. 視覚へのアプローチ

視覚は他の感覚と同様に、客観的な表現では定義できない内容を孕んでいる。先天失明者に明るさや色について説明し納得させる方法はない。一般的にいえば、視覚は物理的的刺激に対するレスポンスであり、その適刺激は光である。そして視覚系のレスポンスの或るものは機器を使って客観的变化として捉えることができ、網膜色素の褪色、ERG、VEPはその例で、研究または臨床に応用されている。科学技術の今後の進歩によって、もっと多くの視覚過程が他覚的検査に供される可能性があるけれども、視覚に関する重要な情報は、被検者を恰かも器械であるかのごとく使うことによって、すなわち自覚的方法によって得られてきたし得られてもいる。

### 2. 視覚の分類

視覚は古くから、光覚、色覚、形体覚(視力)の3つの亜型に分類しての説明がしばしばなされるが、それは心理物理的な立場に立脚して、さらに我々の日常生活の中で素朴に汲み取れる視覚の面を取り出したとみることができる。視覚はさらに多様の顔を現わすが、視覚を惹き起こす光刺激を分析する立場からは前記3者は必ずしも対等にランクされるべき性質のものでは

表1 光刺激の分析からみた視覚の分類

光覚 (光刺激の絶対域値)	}	色覚 (光刺激の質的識別) 明度識別域値 (光刺激の量的識別) フリッカー融合域 (光刺激の時間的識別)	}	視力, 形体覚 (二次元パターンの識別)
------------------	---	---------------------------------------------------------------------	---	-------------------------

なく(大島)<sup>9)</sup>, 表1のように示すことができる。

ここで光覚と色覚を比べると, 色覚があって光覚が無いことはあり得ない。逆に光覚があって色覚が無い場合は存在し得る。たとえば特発夜盲のように色覚や視力が正常で光覚が悪い場合でも, 光覚が無いのではなく悪いにすぎない。杆体機能が全く欠如している場合でも, 錐体によって光の有無を判別する能力すなわち光覚は存在する。一方, 暗所における健常眼の杆体視では, 光覚は勿論あるが色覚は無い。光の波長を色として識別する色覚は光の質的識別能力であり, 光の量的識別能力たる明度識別域値と, 時間的識別能を表わすフリッカー融合域が, 色覚と同列に置かれ得る。

形体覚の鋭敏さを意味する視力は, 例外的に深視力<sup>9)</sup>の名称のなかで三次元的な空間識別の意味にも使われたことがあるけれども, 本来は光刺激の二次元的識別能であり, 識別域値を基調としてその高位に位置すると見なすことができる。視力は基本的には黒白の二次元パターンを用いて評価されるが, 一般的には色で構成されたパターンを見分ける場合もあるわけで, そのさい色覚の健否も関係してくる。すなわち本質的に形体覚をとりあげる場合, 緑地に描かれた赤図形のような色パターンの細かさを見分ける能力(色視力)をも含められ, また, 色覚の評価に仮性同色表のごとき色パターンを用いることがあってもそれは検査のための方便にすぎず, 色覚そのものは形体覚ないし視力の影響を受ける性質のものでないことからして, 視力を色覚と同列に置くのは適切でない。また視力には時間的要素も関係がある。視力が凝視時間の長短に影響を受ける根底には, 固視微動によって起こる網膜映像の動きが受容体に光刺激 on-, off-効果をもたらして生みだされる視覚の成立機転からして, 視力の成立に光刺激の時間的識別能の関与を除外できないからである。なお視力等を基盤にして発達し視力より高次にランクされるべきものに, 両眼視機能などがあると考えることができる。

Duke-Elder&Weale<sup>7)</sup>が形体認識の過程を分析して, 第一段階は光覚(minimum visibile), 第二段階は

個々の刺激の識別(minimum separabile)であり, 像の判断(visual acuity)には刺激を総合してパターンとして認識する脳の働きの関与が加わり, 視力は光覚と知能との間のいわば緩衝状態と表現しているのも, 基本的には表1で示した分析と軌を一にする。

### III 視力の概念とその背景

#### 1. 視力の概念

形体覚の鋭敏さを意味する視力を, 具体的には域値視角(分)の逆数で表わす(Pirenne)<sup>8)</sup>慣習が定着している。ところで見分けるべき図形が違くと域値視角が異なる場合があることに発して, 域値を図形の類型ごとに纏め, 最小視認域 minimum visibile, 最小分離域 minimum separabile, 最小識別域 minimum cognoscibile (legibile), さらに副尺視力 vernier acuity (aligning power)の4者に整理する考え方が19世紀からあったことは, わが国の眼科教科書に広く記されている。

しかし最小視認域に包含される暗黒の中で光る1点の存在は, 視角ではなく光の強度(輝度×面積)によって域値が決まり, その後は光覚域値の問題に帰せられている。いっぽう白地のなかの黒円は約1分の視角で認められることは古く Aubert (1865)<sup>9)</sup>による記載があった。電線のような非常に長い1本の線は, 視角0.5~1秒の極く細いものでも条件次第で, その存在が認められる<sup>10)11)</sup>。

最小分離域に含まれる2つの星の識別は, 視角1分の隔たりで見分けられるとの Hook (1705)<sup>12)</sup>の記載があった。副尺視力は輪郭や線のずれ等を見分ける場合で, 視角2~数秒の食い違いが分かり<sup>13)14)</sup>副尺の読みにその鋭敏さが活用されている。最小識別域はその他一括の意味合いで, 文字とか複雑な図形を見分ける場合であって, 図形により域値視角はまちまちであるが最小分離域よりも概して大きい。

そのような実態のなかで19世紀後半 Snellen<sup>1)</sup>の提唱に発して, 最小分離域を代表する視角1分を基調にした視力表示体系(表2)が生まれ, Landolt<sup>15)</sup>発表の

表2 視力の表示方式(遠距離視力)

小数視力	分数視力					[単型小数]	視角MAR	log MAR
0.1	20/200	6/60	5/50	(4/40)	[ 1/10]	10.0	+1.00	
0.2	20/100	6/30	5/25	(4/20)	[ 2/10]	5.0	+0.70	
0.5	20/40	6/12	5/10	(4/8)	[ 5/10]	2.0	+0.30	
1.0	20/20	6/6	5/5	(4/4)	[10/10]	1.0	0.00	
1.5	20/13.3	6/4	5/3.3	(4/2.6)	[15/10]	0.66	-0.17	
2.0	20/10	6/3	5/2.5	(4/2)	[20/10]	0.5	-0.30	

注:( )内は米委員会案<sup>184)</sup>, [ ]内は仏現行で他の分数視力と違い分子の数値が一定.

環視標(以下L環と略)等にもそれが受け継がれたが、同じ視角で構成された図形でも、図形が違えば見え方に微妙な差異があることは、それらを使って測られる視力の値には、生体现象から遊離した既成の理論体系からみると、若干の曖昧さが付きまとうのを認めない、ともあれ今日の視力検査で捉えられる視力は、先人により蓄積された心理物理的な体験や実験結果に基づいて体系づけられた産物であり、Newman<sup>16)</sup>が「視力は眼科医にとって独特の意味をもち、他領域の学者にはしばしば理解され難い面がある」と述べたのは、物事を一側面だけから捉えんとする姿勢を以てしては的確に把握し難いことを物語ったものと思われる。

2. 視力の基盤

視覚のなかで視力ないし形体覚には、眼の光学系による結像が大きく関わっている特徴があり、またカメラ、テレビの受像機構とは異なる生理学的過程を経て感知されることにも関連して、特異な性格がある。

(1) 眼の光学系による結像

網膜の各受容体は、物体からの光を直接受けるのではなく、眼の光学系によって形づくられる像が織りな

す強度分布に応じて作動する。そこで視力の本態を探る最初のステップは、物体と像との関係から始まる。図1上段に示すように網膜上に生ずる像が視標の形そのまま、つまり輪郭明瞭な視標ならば像も同じく輪郭明瞭なまま、網膜受容体を刺激するとしての視力の説明は、古典的で根拠の無いことである旨 Edridge-Green (1920)<sup>17)</sup>の著書に記されている。今日の光学の基盤とはいへ Newton 光学(1730)<sup>18)</sup>の域を出ない説明が、その当時まで広く視力に適用されていたことを物語る。

1点から発する光が瞳孔を通過して結像するとき、理想的な1点の像にはならず、多かれ少なかれ広がりを示す。そして理想的な網膜像の形成を妨げる回折、収差による相乗的な影響が最小で最も良好な結像が期待されるのは、瞳孔径2.4mmの時で、そのさい限定因子となるものは瞳孔における回折であるとされる(Campbell & Gubisch)<sup>19)</sup>。細いスリット光の結像は、最良にピントが合ったと見なされる時でも、かかるpoint spreadが集合したline spreadを形づくり、図2のような強度分布を示す。ともあれ鋭敏な視力を説明するには、かような網膜像形成の実態を無視できず、

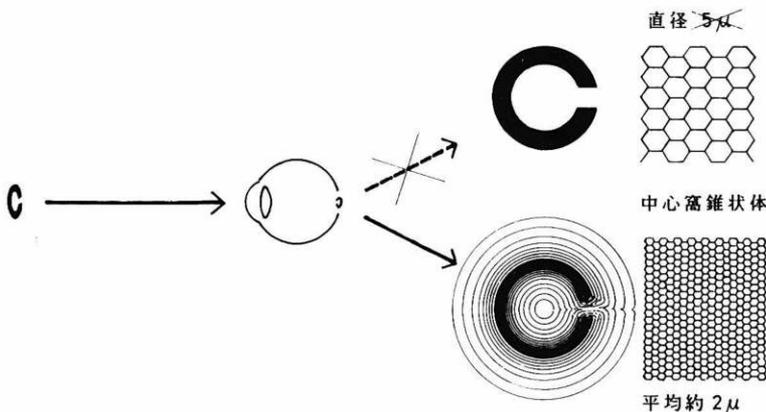


図1 Landolt 環の網膜像

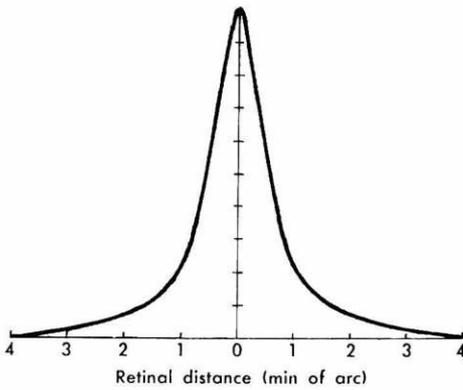


図2 Line spread function

正常な域値付近の網膜像を拡大すると、図1下段のような朦朧像となる。

(2) 網膜の解像力

i) 中心窩錐体の直径, 中心間距離

網膜が受ける空間情報の処理に当って第一の限定因子となるものは、光受容体の大きさ或いは中心間距離である。中心窩錐体の直径を古く Schultz (1866)<sup>20)</sup>が 2~2.5 $\mu\text{m}$  との実測値を発表していたのだが、錐体の配列によってはその中心間距離が視角1分に相当する 4~5 $\mu\text{m}$  (Gullstrand 模型眼<sup>21)</sup>にて計算すると視角1分は網膜上で4.85 $\mu\text{m}$ との解釈が加えられ<sup>22)</sup>、前述の理想的結像が網膜上に生ずるとした仮定を組み合わせることで視力の説明(図1上段)がなされた時代があった。しかし Polyak (1946)<sup>23)</sup>, O'Brien (1951)<sup>24)</sup>により中心窩錐体の中心間の間隔が 2~2.5 $\mu\text{m}$  であることが明らかにされて以後も比較的近年まで、かかる古典的な視力の説明が眼科成書<sup>25)</sup>になされていた。

ii) 1線視力 one line acuity

第二の限定因子は網膜上の強度分布と、その弁別に与かる隣接受容体(受容野)間の識別域値  $\Delta I / I$  ( $I$ は刺激強度,  $\Delta I$ は識別されうる刺激強度の差)の関係である。Hartridge (1922)<sup>26)27)</sup>は夙にそれを指摘して

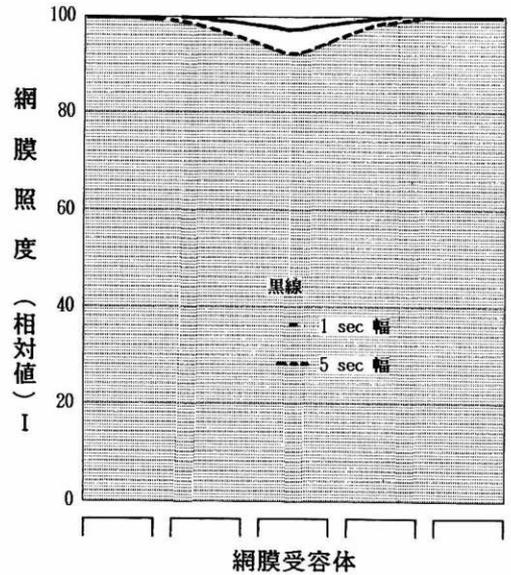


図3 1本の黒線の網膜像における強度分布

いたが、視角0.5~1秒の幅が見出されうる1線視力の場合、最小網膜受容体の1/10以下と概算される視角が見分けられる事実を説明して、Hecht and Mintz<sup>10)</sup>, Westheimer<sup>14)</sup>は、図3のように、眼の収差、回折などのため幅広くぼやけた映像となって投げられる網膜上の強度分布が、隣接する受容体を受ける刺激強度の違いを弁別できる条件を整えた場合、いいかえれば隣接受容体間の識別域値を越える刺激強度の差がある場合に、1線の存在が認められ得るとした。

大島<sup>28)</sup>が輪郭明視の機序を探る実験で指標として使用した視角5.9~8.3秒の太さのピアノ線が、明暗を画する輪郭の近傍約1分(視角)以内の部位で、その視認が著しく阻害された結果をもたらしたのも、輪郭近傍に生ずる強度分布の勾配のなかに、ピアノ線による強度分布が巻き込まれ、受容体間の識別域値を越える強度差を生ぜしめなかったためと思われる。また輪郭が明瞭に見える範囲を指標として測った眼の焦点深

表3 眼の焦点深度

判別する目標	境界の明視	線の明視	点の明視	市松模様の識別	2線の分離
実験距離	125cm	50cm~2m	40cm~6m	4m	
焦点深度の実測値(全幅)	0.04~0.1D	0.06~0.23D	0.25~0.4D	0.66~0.38D (50% level)(99% level)	1~1.5D
瞳孔径	2mm	3mm		4.6mm	2mm
報告者	大島 <sup>29)30)</sup>	長谷川 <sup>31)</sup>	Miles <sup>32)</sup>	Schwartz & Ogle <sup>33)</sup>	von Bahr <sup>34)</sup>

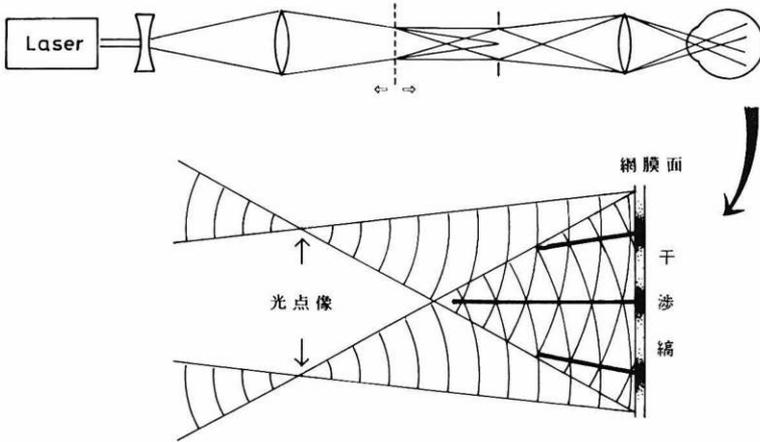


図4 レーザー干渉縞の眼内における生成原理図

度(大島)<sup>29)30)</sup>は、表3に纏めた諸家の実測値と比べて示されるように、2線分離を指標とした場合等よりも狭い。それは、視力表を見させて行う自覚的屈折度検査の際に、視標の判読を目安にするよりも視標が最も明瞭に見えるレンズ度を求めると、 $\pm 0.12D$  ステップで矯正レンズ度を限定できる場合があることに関する知見であろう。

iii) 2点または平行線の解像

眼の屈折状態や収差とは無関係に、網膜の解像力を測定する方法として、coherentの単色光の2つの点光源像を瞳孔(眼の節点)に生じせしめる時、そこから硝子体の方向に開散する光が作りだす干渉縞(図4, 5)を観察する方法がある(Campbell & Green<sup>35)</sup>, Westheimer<sup>36)</sup>, 大庭ほか<sup>37)</sup>, 白土<sup>38)</sup>). その干渉縞の物空間における間隔は、 $\lambda/a$  radian ( $\lambda$ :波長,  $a$ :瞳孔面における光源像の間隔)で表される。623nmのレーザー光の場合、縞を構成する線の中央から中央までが角度2分(視角1分に相当)のパターンは光源間隔1.07mmによって作りだされる。Campbell & Gubisch<sup>39)</sup>は、この方法で測定される網膜の解像力の限界は視角24秒であり錐体直径 $2\mu m$ に見合うとし、Westheimer<sup>36)</sup>はそれが視角30~35秒に相当し、眼の光学系により最良の結像状態がもたらされる瞳孔径約2~2.5mmのさいの2線分離能力に釣り合う数値であると示した。

かかる実験に用いられた干渉縞は正弦波の断面をなす強度分布を示すが、輪郭明瞭な矩形波をなす平行線を視標としたLehmannの実験<sup>40)42)</sup>は、図6のように単位長当たりの黒線の数と同じ(黒線の中心間距離が

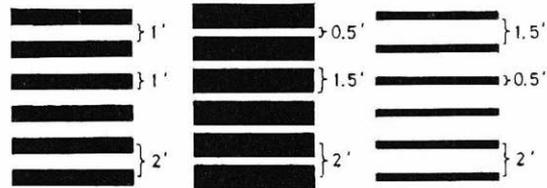


図6 Lehmannの実験

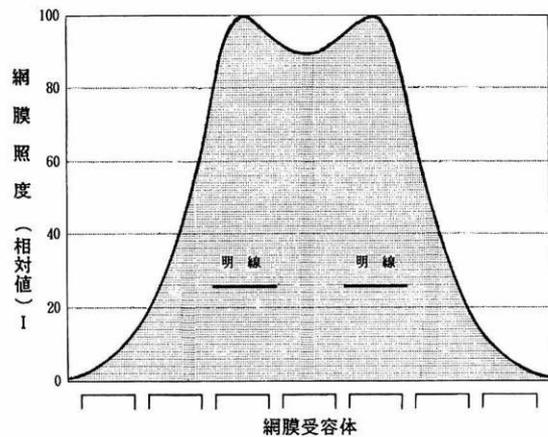


図7 2本の明線の網膜像における強度分布

等しい)ならば、黒線の幅が違っていても同程度の距離で見分けられるとの知見を得、黒線の幅と間隔を重視したSnellen視標の原則<sup>41)</sup>にかつて一石を投じたものであったが、最小分離域ないし2線識別についての今日の見解にはむしろ則する所がある。

2点または2線が分離して見える条件は、それぞれの点、線の存在が視認されることを前提として、図7



図5 レーザー干渉縞

のごとく、網膜上に生ずる強度分布における山と山の間隔が受容体(受容野)の中心間距離を越え、かつ山と谷との強度差  $\Delta I$  が識別域値  $\Delta I/I$  を越えることがあげられる。

### (3) 視覚情報処理伝達

#### i) 視力に関連の生理学的知見

受容体から高位中枢へと視覚情報が伝達される過程においては、複数の受容体からの信号が、双極細胞を経て神経節細胞に至る間に amacrine 細胞、水平細胞を混じえたネットワークを経ながらも、それぞれの受容野を形づくる1本の神経線維に収斂されるのが一般的ではあるが、中心窩付近の受容体はそれ自体が1つの受容野を受け持つともいうべく、1個の錐体からの信号は専用の1本の神経線維を介して中枢に送られることは、Polyak<sup>23)</sup>以来諸家の研究によって推定されている。周辺視になるに従い中心外視力が著しく低下するのは、かかる受容野が網膜周辺に至る程に広さを増すことに専ら起因するとの解釈がなされている<sup>43)</sup>。受容野の特性は、神経節細胞から外側膝状体、有線領皮質に至るほどに修飾、分化されて、有線領皮質には、外側膝状体と同様の求心細胞のほか、線状光刺激の方向や動き、長さに応じて興奮する単純細胞、複雑細胞、超複雑細胞の4者に類型分けされる神経細胞が存在する等を明らかにした Hubel & Wiesel<sup>44)~49)</sup>の研究以来、各 neuron の特性が着々と浮かび上がってきている。

しかし、これらの知見を視力の本態解明に結びつけるには、さらに高位中枢での情報処理が明らかにされ、またミクロン単位での網膜の場における個々の光学的情報が神経系機構のなかで相互にいかなる有機的関係を保ち、いかなる修飾を受けて統合され、最終的なパターン情報として認識されるかが明らかにされねばならず、心理物理的に捉えられる鋭敏な視力の成立機序を的確に説明できる迄には至っていない。

#### ii) 生理光学的アプローチ

理工学系の分野で使われている Fourier 解析の手法が近年、視覚研究に導入された。空間周波数にコントラストを付加させて捉える MTF (modulation transfer function) では、正弦波の格子縞パターンが視覚刺激として使われ、視力関連の機能が測定される。それによって物理や工学で培われた処理法を引継ぎ、形態心理学の分野で長い間採られてきた分析法の基盤を広げるのに役立っている。

しかし一般に、物理的事象の分析に広汎に使われている Fourier 処理は、その事象の動向が妨害振幅には無関係、あるいは同時に他の妨害要因が存在してもそれに左右されない時、いかにすれば事象の動向が直線状である時のみ正しく適用される。そのような時のみ時間や空間を周波数で表現する処理が生きてくる。そこで果たして、形体覚ないし視力に関して Fourier 解析が至適であるかというに、眼の光学系による結像までの過程に対しては、カメラの光学的性能の評価に、MTF が用いられていると同様に扱えるにせよ、網膜以後の過程に対しては疑問がある。網膜とその後の過程においては直線状とはいえない強度レスポンスが現れることが明らかにされているからである。

すなわち網膜における受容単位(受容野)の密度が視野中心から離れるに従い著しく粗くなること、神経節細胞の受容野が求心的に off-中心または on-中心に構成されていることからだけでも、Westheimer<sup>50)</sup>指適のごとく、直線的関係が維持されるという扱いをなし難く、さらに有線領皮質に方向特性を示す neuron の存在、その高位中枢における視覚情報処理過程が未だ明らかにされていない現状に照らすと、周波数を変数とする正弦波の型に嵌めて視覚を処理するのは、生命科学の深遠さを短絡した手法でもあり、それが至適とはいえない事情がある。

## IV 視力の性状と推測法による視力測定

### 1. 視力に影響をもたらす諸因子

心理物理的に把握される視力の鋭敏さに対し、光学的ないし生理学的な根拠に基づく解明が十分になされていないとはいえず、視力は多くの要因によって影響を受け変化することが古くから知られている<sup>51)52)</sup>。病的因子を除外して主なものを列記すれば、

眼の屈折調節状態……defocus の程度<sup>53)~59)</sup>

視野の部位……中心視力、中心外の程度<sup>60)~64)</sup>

瞳孔径……回折、収差、網膜照度<sup>65)~68)</sup>、Stiles-Crawford 効果<sup>69)~72)</sup>に関係

輝度……視標、視標周囲、視野全般 [視力表の照明<sup>73)~78)</sup>、コントラスト<sup>79)~85)</sup>、光沢、網膜の順応<sup>86)</sup>に関係]

視標の形……パターンの違い [II、参照]

視標の接近……光学的な point spread で説明できない視力低下が、視角数分以内の視標接近のとき特に著しくみられる。

視標の露呈時間……100~500msec 以下の露出時間では一般に視力低下<sup>87)~91)</sup>

眼の経線……視標の方向<sup>92)~94)</sup>

視標の動き……[動体視力]前後の動き<sup>95)96)</sup>、前額面での動き<sup>97)~99)</sup>

眼の動き……網膜像の著明な動きは視力低下をもたらす。像の小さな動きは視力を損ぜしめない。網膜像の完全な固定停止は視力を低下させる<sup>100)</sup>。

視距離……距離が著しく遠いと視力低下、Aubert-Förster 現象<sup>101)~104)</sup>

年齢、知能……視力の発育に関係<sup>105)~107)</sup>

注意力の集中程度……疲労

## 2. 視力の変動と確率論的測定 (推測法)

### (1) 推測法の意義

このような外的内的条件を可及的一定に保って視力を測定しても、厳密に一定の視力が常に得られるわけではなく、生理的変動ともいえる或る範囲内で視力は瞬間ごとに微妙に変動する<sup>108)109)</sup>。そのどれを視力の代表値とすべきかというに、多数の測定値の平均を採る方法はあるが、それだけで解決できる問題ではない。

視認距離を測って視力を求める場合、羽生田<sup>110)</sup>、小島<sup>111)</sup>が実験で示したごとく、視標に近づいて初めてそれを正しく認める距離 (出現閾) と視標から遠ざかって視認不能になる距離 (消失閾) とが異なる。また清家<sup>112)113)</sup>が検討したごとく、視標の存在を臆ろげながらも認める距離 (透視距離) と確認する距離 (確認距離) には開きがある。一定の視距離で測る視力は、概

して上記の消失閾に該当するが、視標を臆ろげにでも認める所を域値 (閾) とすべきか、確認する所を採るかで視力の値に差異を生ずる<sup>114)</sup>。そして実際の測定に当り、被検者が臆ろげに認めたにせよ、確認したにせよ、それを躊躇なく答えるか否かも正確な測定を意図する時には問題になる。

それらの問題に対しての解答を与えた視力測定法は、Lythgoe ら<sup>73)</sup>により創められた確率論的方法で、中川<sup>115)</sup>はそれに推測法と名づけてわが国に紹介し、大島<sup>75)</sup>、篠田<sup>116)</sup>、池田ら<sup>77)</sup>はそれぞれ修正ないし簡易化した方法を発表した。近年この方法が海外でも信頼性高い視力測定法として見直されている<sup>78)</sup>。また Fantz<sup>117)118)</sup>によって創められ、わが国で勝海ら<sup>119)120)</sup>以来、乳幼児の視力検査に重用されている PL 法 (preferential looking) における視力判定の基礎は、推測法の理論に発する。

視力測定の際、視標を正しく確認しているわけでもなく、全然分からないのでもなく、臆ろげに見える状態の時に、その朦朧の程度を量的に捉え、視力の域値を合理的に求めんとするのが推測法である。

### (2) 推測法の理論と実際

#### i) 被検者に要求される応答

推測法による視力測定は確率的方法でもあり、被検者に分からないとの答えを許さないのを原則とする。ぼんやりとでも分かったような気がすれば、それを答え、全然分からない時には出鱈目にでも答えて貰う。L 環 8 方向で検査する場合、上下左右斜のどの方向かを被検者は必ず答えねばならない。

#### ii) 真の正答数 (率) の換算

このような応答の中から、出鱈目に答えて偶然に正解になった分を除き、真の正答を求めるデータ処理は次のごとく行う。

N 種の応答のうち (L 環 8 方向の場合 N=8) 1 種が正解の場合、純然たる推測で正答 1、誤答 N-1 の割合の答えが得られる。そして同一条件下で得られた同一被検眼による多数の応答で、偶然の正答を含めた見掛けの正答数が N 回中 y' であれば、見掛けの誤答数は N-y' であり、また推測による正答数は見掛けの誤答数の 1/(N-1) であることが期待される。そして真の正答数 y は見掛けの正答数 y' から推測による正答数を減じたものとなる<sup>73)75)</sup>。

$$\begin{aligned} \text{真の正答 } y &= y' - (N - y') / (N - 1) \\ &= N (y' - 1) / (N - 1) \dots\dots\dots(1) \\ \text{真の誤答 } N - y &= N (N - y') / (N - 1) \end{aligned}$$

表4 Landolt 環 8 方向を使った推測法による視力測定例 (大島<sup>75)</sup>)  
—照度0.63lx (輝度0.16cd/m<sup>2</sup>) における測定—

視標 正答数	1.2		1.0		0.9		0.8		0.7		0.65		0.6	
	実測	計算値												
8						0.01	1	1.26	5	7.61	18	18.13	48	45.71
7						0.10	5	4.26	19	17.64	28	28.21	26	25.69
6				0.02		1.18	10	11.17	28	26.00	19	23.49	6	7.77
5				0.44	6	6.58	20	19.14	15	19.39	12	8.66		0.80
4		0.11	8	4.49	23	18.52	20	20.57	11	7.66	3	1.41		0.03
3	4	2.30	18	18.35	21	26.33	14	14.52	2	1.53		0.01		
2	14	15.24	25	30.30	20	18.83	7	6.64		0.16				
1	32	33.00	15	20.29	9	7.02	3	1.98		0.01				
0	30	29.35	14	6.11	1	1.43		0.43						
合計	80	80.00	80	80.00	80	80.00	80	80.00	80	80.00	80	80.00	80	80.00
平均	0.90	0.90	1.89	1.95	2.93	2.98	4.28	4.30	5.83	5.91	6.58	6.66	7.53	7.45
標準偏差	0.86	0.82	1.19	1.03	1.15	1.21	1.48	1.50	1.16	1.19	1.07	1.01	0.63	0.71

池田ら<sup>77)</sup>は  $P'=y'/N$  を見掛けの正答率,  $P=y/N$  を真の正答率としたが, その関係は上式を変換してえられる。

$$\text{真の正答率 } P = (NP' - 1) / (N - 1) \dots\dots\dots(2)$$

iii) 正答数の頻度分布

表4は, L環8方向を順序不同に示し, 同じ方向に示した時の読み8回中の正答数(見掛け)を求め, 一定条件(輝度0.16cd/m<sup>2</sup>)での合計80組の各8回中の正答数の頻度を, 7個のL環(1.2~0.6)について纏めたもので, 各視標ごと640回の読みに基づいた結果である(大島<sup>75)</sup>。視標が大きくなる(視力値小)ほど, 正答数8(全正解)の頻度が増す傾向がみられるが, Lythgoe-Pearson<sup>73)</sup>は  $\log$ (真の正答/真の誤答)と  $\log u$ (視標の大きさ  $u$  の対数)との間に間に直線関係があるとき

$$\log_{10}\{(y'-1)/(8-y')\} = a + b \log_{10}u \quad [a, b \text{ は常数}] \dots\dots\dots(3)$$

から調整値を算出した上で, それを基に各80組の正答数は二項分布をなすとした計算式により, 正答数の期待値を算出した。

大島は実験で得られる正答数8の全正解には, 辛うじて8回正答する場合から極めて容易にそれを行える場合まで, 種々の程度のもが含まれ, また正答数0にも同様に各種の程度のもが含まれ理論的には負の正答数も考えられ得るとの立場から, 真の正答数が正規分布をなすとして, 実測値によく合致することを知った。表4の計算値は, 正答数8および0の頻度に対する調整を行った正規分布から算出した見掛けの正

答数の計算期待値であり, 実測値とよく一致している。

iv) 視標の大きさ(視角, 視力)に対する真の正答数の分布

Pearson<sup>73)</sup>は“丁度視標を認識できた瞬間”の分布は上記(3)式から誘導される

$$\frac{b \cdot 10^{a+bv}}{\log_{10}e (1+10^{a+bv})} \quad [\text{ここに } v = \log_{10}u]$$

で表わされるとした。これに対し中川<sup>115)</sup>は(3)式の直線関係が実測値の中央部付近で成立するいわば近似的関係であることを指摘して, 正規分布と考えるのが適切であると考察した。

大島<sup>75)</sup>は真の正答数が視標の大きさの対数  $v$  に対し正規分布をなすと仮定した。すなわち  $v$  が或る値の時の真の正答数  $Y$  の平均と標準偏差をそれぞれ  $\bar{y}, \sigma$  とし,  $y$  が或る値の時の  $v$  の平均と標準偏差を  $\bar{v}, \sigma_v$  とすれば, 真の正答数の頻度  $z$  は

$$\frac{1}{2\pi\sigma\sigma_v} e^{-\frac{(y-\bar{y})^2}{2\sigma^2} - \frac{(v-\bar{v})^2}{2\sigma_v^2}} \dots\dots\dots(4)$$

で表わされ, 図8にその回帰曲面を示す。

池田ら<sup>77)</sup>は, 真の正答率  $P$  が視標の大きさ  $u$  に対し近似的に正規分布をなす関係を正規確率紙で示した。この取扱いは Lythgoe-Pearson<sup>73)</sup>, 大島<sup>75)</sup>の分布が何れも  $\log u$  に対する分布であることと異なり, Westheimer<sup>121)</sup>指摘の如く, 視力または視力関連値を関数として扱う際には, 対数とするのが合理的ではあるけれども,  $u$  がさほど大幅に変化しない範囲内では, 実際上の差異は少ない。

v) 視力の決定基準

図8のように変動する域値のなかで、どこを視力として選ぶかについて Lythgoe ら、中川は、測定誤差が最小の個所を探るのが最も合理的であることを述べ、大島、池田ら、もそれを踏襲した。すなわち真の正答8中4(50%)を与える視標の大きさを以て、測定した条件下での視力とする。大島による上記(4)式に  $y=4$  とおけば

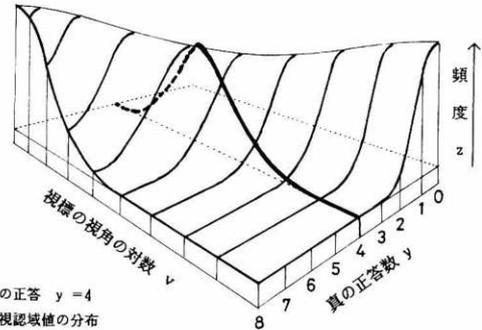
$$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{v_4}} e^{-\frac{(v_4 - \bar{v}_4)^2}{2\sigma_{v_4}^2}}$$

[ $v_4$ は  $y=4$ の時の  $\log u$ ,  $\bar{v}_4$ はその平均,  $\sigma_{v_4}$ は標準偏差] で表される分布(図8)は、同一条件下における視力(対数)の頻度分布と見なすこともでき、そのカーブの頂点で視力を表すのが誤差を最小限にする条件を充たすことになる。

この視力決定基準における真の正答50%を見掛けの正答に換算すれば、(1)または(2)式から表5が得られる。ここにL環8方向での測定では見掛けの正答4.5/8(56.25%), L環で斜方向を省いた4方向の場合2.5/4(62.5%)を視力決定基準とする理論的根拠が生まれる。これはL環による以外の検査にも通用し、2者択一の方式が採られるPL法<sup>119)~120)</sup>において視力決定基準とされる見掛けの正答75%(1.5/2)の算出根拠でもある。

かかる視力決定基準を採るに当って、被検者の応答選択数が多い方が、推測法の出発点たる確率論上、信頼性高い測定法となり得る。すなわちL環8方向を使う方が4方向によるよりも信頼性高い測定となり。また多数の測定に基づいて求められた視力のほうが信頼性高いことは自明である。表4に掲げた測定では、7種の大きさのL環を用い各640回、合計4,460回の測定(読み)から1つの視力値が求められたのだが、篠田<sup>116)</sup>は推測法の特徴を生かす最小限の測定回数は域値付近で大きさの異なる3つのL環を用いそれぞれ8方向各3回、合計72回の測定が必要であるとした。なおL環8方向を使う測定では、一般に斜方向が水平、垂直方向よりも若干視認され難い傾向があるにせよ<sup>92)~94)</sup>、平均化された機能として取り出される視力測定値の信頼性を減殺させる理由にはならない。

いずれにせよ推測法では多数の測定を基に1つの視力値を求めるので、それを日常の視力検査で行うには適せず、推測法そのものは実験室的方法としての価値が高いもので、またその実験結果から導かれる結論は



太線は真の正答  $y=4$  ときの視認域値の分布

図8 視標の大きさ(視角)と真の正答数の関係

表5 視力の決定基準

	真の正答	見掛けの正答
Landolt環8方向での検査	4/8 (50%)	4.5/8 (56.25%)
Landolt環4方向での検査	2/4 (50%)	2.5/4 (62.5%)
2者択一(例:PL法)	1/2 (50%)	1.5/2 (75%)

臨床的な視力検査における指針として役立つ上での意義がある。

## V 視力検査, 視力表の実態

### 1. 視力検査の種類

視力検査にさいし呈示される視標に対する被検者の応答を整理すると、①言葉、②動き(随意的…例えばジェスチャー、ボタン押し;不随意的…例えばOKN)、③神経細胞からの電気信号の3者に大別される。そして自覚的方法ないし心理物理的方法では、言葉による応答あるいは随意的動きを捉え、他覚的方法は不随意的動きあるいは電気信号等を捉えて行われる。

他覚的視力検査として具体的には、OKN法(不随意的な眼球運動の利用)<sup>122)~130)</sup>、patten VEP(脳波の変化)<sup>131)</sup>、PL法(乳幼児の随意的ないし不随意的な頭部の動き)<sup>117)~121)</sup>等の発達があり、被検者の主観に頼らず、また記録保存により事後判定をも図りうる利点があるけれども、通常は自覚的方法のほうが検査を迅速、手軽に行え、しかもこと視力に関しては精度の高い値が得られる所から、他覚的視力検査は視力詐称の看破とか、理解力や表現力に欠ける乳幼児等、自覚的検査が不適ないし不能の場合に応用されるに止まっている。

すなわち、他覚的視力検査が自覚的検査の域に達しさらにその域を越える信頼性高い方法に発展するのは

将来に待たねばならぬが、心理物理的な自覚的方法で捉えられる視力と、現在の他覚的方法による視力との間にはかなりの相関が証明されるにはせよ、両者が同じチャンネルを経たものか否かの解明には<sup>132)</sup>、視力の成立機序が今後十分に明らかにされることが必要となる。

そのような事情からして視力検査の主流とされている自覚的視力検査法に用いられる視力表、視標の実態を取り上げる。

2. 視力表に用いられる視標の条件

視力表を特徴づける視標は次の諸条件を充たすことが望ましい<sup>5)</sup>。

- ① 検査の正確を図れる……結果の再現性高く、出鱈目に答えて正解する可能性が少ない。
- ② 迅速簡便に実施できる……被検者の応答が簡単、検者が答の正否を容易に判定可能。
- ③ 視標の判別に知能を要すること少ない。
- ④ 視標は小型で単純

実際に使用されている視標には表6に掲げた各種類がある。そしてわが国でL環が主用され仮名文字図形が補助視標として多く使用されているのにひきかえ、欧米諸国ではローマ字視標が殆ど専ら主用されている。

なお頻繁に行われる日常の視力検査では、上記②の検査実施の迅速さを無視できない。わが国現行の視力表で、L環、数字、平仮名を配列した中村式万国式試視力表(初田)<sup>140)</sup>の各行の視標の応答判定に要した正常者20名の所要時間は、図9のごとく平仮名、数字でL環の約1/2で済む(大島)<sup>141)</sup>。

文字と数字の比較では、アラビア数字が世界に汎く通用する利点があるとはいえ、使用する数字の数が著しく限定される欠点がある。すなわちElschnigら<sup>135)</sup>が数字を視認の難(589)、中(236)、易(1470)の3群に分けて説明したことからも、同程度に視認される3~4種だけを選んで配列した視力表では、推測による正解の可能性を増して条件①に悖るし、同じ数字が頻繁に使われるため検者が正否の判定を円滑に実施し難い場合を往々生じ、補助視標として使用するには数字よりも文字のほうが便利である。

それはまた、欧米でL環があまり使われていない理由に繋がる所がある。すなわち標準視標をL環とする国際的合意を1909年に纏めたHess<sup>9)</sup>が同時に、L環に加えて数字視標を補助視標とする視力表をinternationale Sehprobentafelと銘うって発表し普及を

表6 視力検査に用いられている視標

A. 方向を識別させる視標	
Landolt環 <sup>15)</sup> ……国際的標準 <sup>3)</sup>	
縮小Snellen鉤 <sup>1)</sup> (井上鉤 <sup>133)134)</sup> , Elschnig <sup>135)</sup>	
E視標……小児用	
六六環(山森 <sup>136)137)</sup>	
格子縞(矩形波, 正弦波)	
市松模様……スクリーニング器兼用	
双魚型視標(山地ら <sup>138)139)</sup> ……小児用	
B. 形を判別させる視標	
片仮名 図案体	
筆記体……近距離用	
平仮名 図案体	
活字体……近距離用	
ローマ字 図案体	
活字体……近距離用	
数字	
影絵……小児用	
単純図形(○△□等)……幼児用	

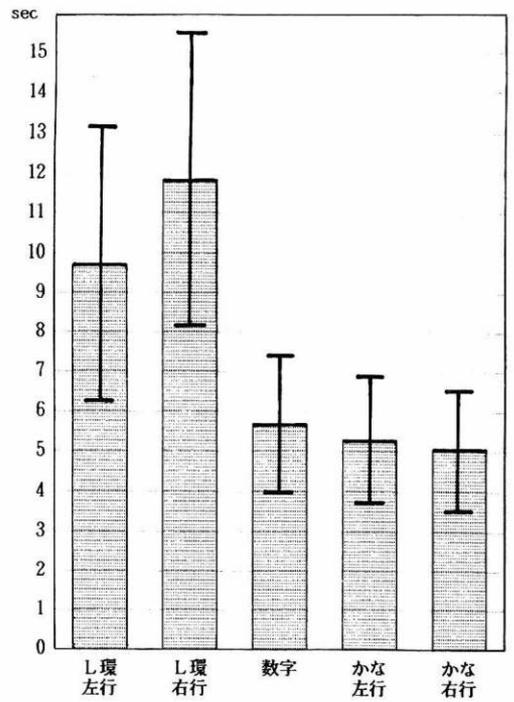


図9 視力表各行(0.2~1.2)の通読所要時間

図ったのだったが、数字視標の上記の欠点からしてその視力表は普及することなく過去帳入りし、Snellen原則(最小分離域の概念を踏まえ文字の構成線の太さ、間隔を等しくし5×5の枠内に収める)のローマ字視力表が欧米でその後益々定着した模様がElschnig<sup>135)</sup>

表7 文字視標の視認度の差異 (それぞれの平均を100とした)

片仮名 (石原 1910)	平仮名 (大島ほか 1963)	ローマ字 (Sloan 1959)
レ 101.4	へ 104.2	Z 114.6
ヒ 100.5	つ 103.0	N 111.7
フ 100.1	て 102.8	H 108.8
ロ 100.1	く 102.5	R 105.2
コ 100.1	こ 100.1	V 103.1
ニ 100.0	い 98.9	K 100.1
ル 99.7	と 98.7	D 97.0
カ 99.5	け 98.1	C 87.0
ナ 98.4	に 97.9	O 86.5
	り 93.0	S 86.1
平均 100 標準偏差±0.75	100 ±3.17	100 ±10.09

表8 視力表の型式

ポスター式……………紙製
アンドン式(後照式)……………照明付, 遠隔操作可能
投影式(プロジェクター式)…照明付, 遠隔操作可能
空中像式(介凸レンズ方式)…照明付, 換算距離に視標呈示
電子画像式(ブラウン管, 液晶)…試作段階

供の持つ最高視力を引き出す, 2) 検査不能例が少なく, 3) 検査時間の節約をあげた。

1)は被検査者が幼少なほど特に要望され, 2)は前記条件③に関するものであり, 3)は成人一般での②とは幾分違った意味合いを持ち先行する2条件を充たした上での条件である。そこで影絵など年少児の興味を惹く視標も使われるが, わが国では湖崎ら<sup>148)~150)</sup>により推進されたL環ゲームを主体とした視力検査が行われているのは, L環が国際的標準視標とされているだけに, 欧米でのE視標による検査に比べて進歩的と解されうる。なお特に幼少の子供での視力検査には○△□等の単純図形が適するとされ<sup>151)~152)</sup>, また視力の発育過程にある年少児では並列視標よりも単一視標による所謂字ひとつ視力による検査が上記1)を充たす上での要件になる<sup>152)153)</sup>。

### 3. 視力表の実態

#### (1) 視力表の型式

紙に印刷されたポスター式視力表が古来最も多く用いられている。今日ではその他に表8の各形式の視力表がある。それぞれに特徴があり, 紙製ポスター式は安価で手軽に使用できるが, 照明は別に配慮されねばならない。アンドン式以下は視力表の照明機構を具え遠隔操作等が可能の機種が多いが, アンドン式<sup>154)</sup>ではポスター式と同様にガラス又はプラスチック板上の視標を被検査者に直接見させるのに対し, 投影式, 空中像式では視標の二次像が被検査者に示される。なおポスター式を平面鏡に映して検査室空間の節約を図る方式は通例, 視標の直接呈示と同等に扱われうる。

介凸レンズの空中像式は, 視標が実距離ではなく換算距離に示されることからして, 屈折度の測定を同時に意図する矯正視力検査には器械近視の出現が慮られ臨床検査には主用されない傾向が強いが, 検査室の省空間を図る利点を生かしてスクリーニング器械に活用されている。また電子画像式は概ね試作段階であるが<sup>155)156)</sup>, 液晶や画像鮮明な高品位テレビを中心に電子化機器としての発展が今後予想される。

関連分野の進歩に応じて発達したかかる各形式の視

の記述の中から伺われる。一方わが国では1909年の国際的合意を受けて石原<sup>4)</sup>がL環と補助視標たる片仮名とを並列した視力表を発表したことがL環の国内普及に与かって力あったと思われる。

文字視標は9~10種が1つの視力表に使われるのが通常であるが, わが国では片仮名に加えて, 戦後の教育改革に基づく要望からの平仮名<sup>140)142)~145)</sup>が使われているが, 総じて平仮名は文字としての自然さを失わずに視標化するのが片仮名, ローマ字に比べ困難である。しかし代表的な石原式片仮名<sup>4)</sup>, 平仮名視標のなかで作図法明記の大島式<sup>145)</sup>, ローマ文字視標の Sloan letters<sup>146)</sup>の視認度を比較すると, 表7の結果からして, 使用文字の視認度の均一さにおいて, 平仮名視標は片仮名に若干劣るとはいえ, ローマ字よりも優れて作成しうることが示される。

なお欧米における文字視標の使用には, 「眼を日常行使する状態で発揮される視力」を測るとの基本理念<sup>104)</sup>が底流にあり, 遠距離視力検査には Snellen 原則のローマ字視標が馴染まれ使われる一方, 近距離視力検査には Times Roman type で代表される活字が多用されており, わが国の近距離視力表での活字視標はその影響を受けてのことと思われる。

ともあれわが国では, 条件①の正確さが重視される場合の視力検査にはL環を用い, 正確さを幾分は犠牲にしても②の迅速さが要望される場合, 例えば屈折度測定に主眼をおく視力検査などでは文字視標を用いる体系が採られているのは合理的である。

幼児を始めとする年少小児の視力検査は特殊に扱わねばならない。Lippmann<sup>147)</sup>はその条件として, 1) 子

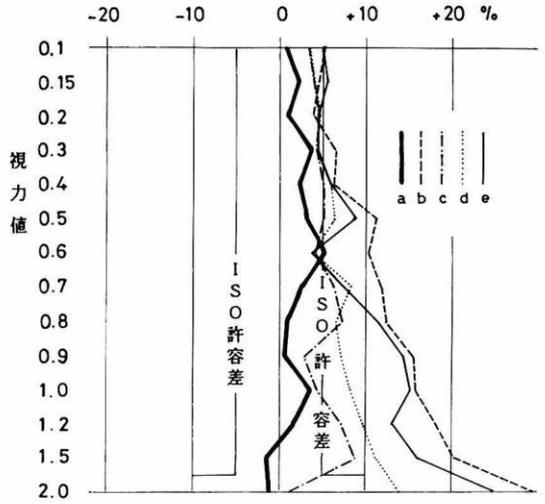
力表のどれを使っても、同一の視力測定値が得られることを理想とするが、後述のように視力表規格に取り上げられるべき品質管理の上での問題点はそれぞれ異なる。

(2) Landolt 環の正確さ

標準視標のL環について、距離5mでの視力値1.0のL環は、外径7.5mm、切れ目および太さ1.5mmとしたHess<sup>3)</sup>の記載の踏襲がわが国では眼科教科書等に多くなされている。しかし厳密にいうと、その1.5mmは視角1分よりも約3%大きく、その場合の視角1分は1.454...mmに相当する。なおHess以後、海外では視力値1.0の環の切れ目は視角1分の幅との記載はあっても、5mでの視角を1分を1.5mmとした取扱は見当たらず、ちなみに晩年のLandolt<sup>157)</sup>はそれを1.45mmと記した。

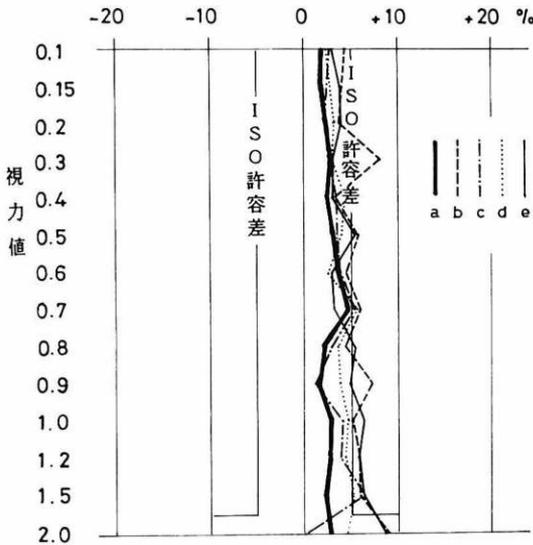
わが国の市販視力表のL環の実測は諸家<sup>158)~164)</sup>により報告されたが、視角1分を距離5mで1.5mmとした扱いがなされていた。最近の紙製ポスター式視力表(図10~12)、アンドン式視力表(図13~15)、のL環を実測し、視角1分=1.454mmとした基準値を基に算出した正確度%  $[100 \times (\text{実測値} - \text{基準値}) / (\text{基準値})]$  を見ると、その基準値を1.5mmとする扱いは以前と変わっていないことが分る。すなわち図10~15において、寸

法が大きい視力値0.1付近のL環の正確度は、視力表間の格差が減少して集中するが、1.454mmの基準値に一致する0%に集中するのではなく、1.454と1.5mmとの差±3%付近に集中している。



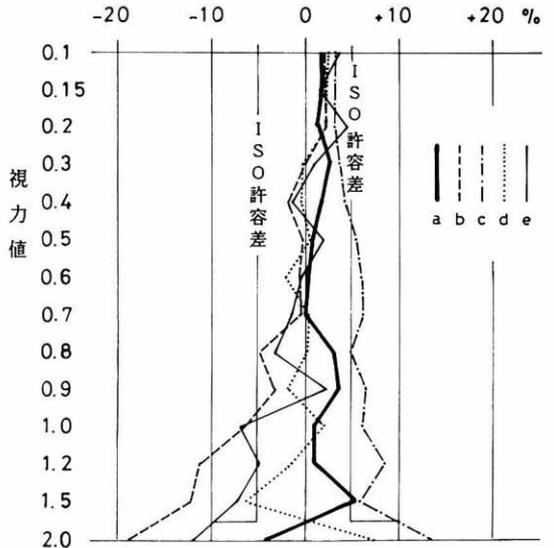
視角に準拠の基準値で正確度を算出

図11 Landolt 環の正確度(太さ)—5m用ポスター型視力表



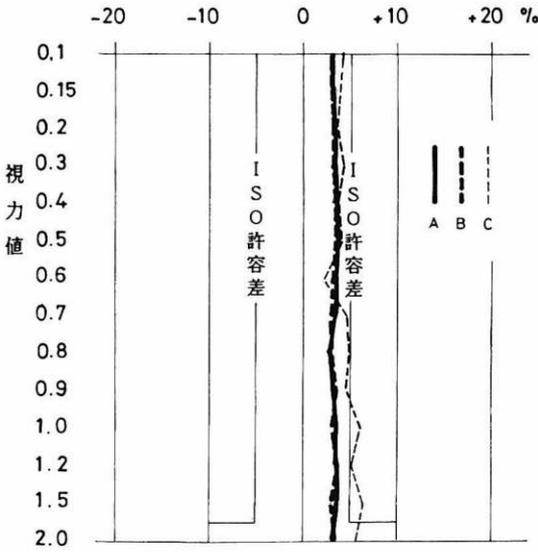
視角に準拠の基準値で正確度を算出

図10 Landolt 環の正確度(外径)—5m用ポスター型視力表



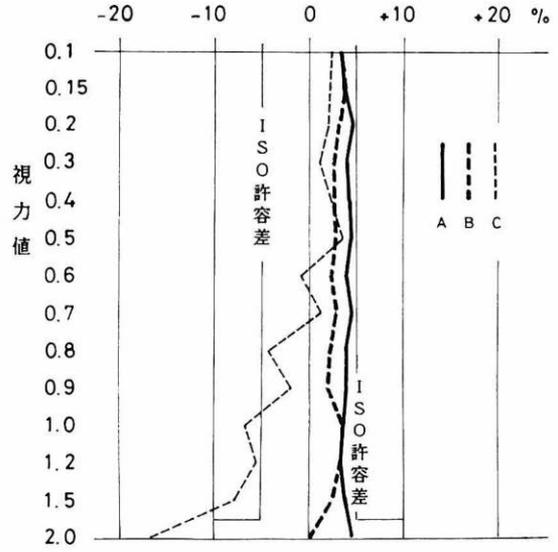
視角に準拠の基準値で正確度を算出

図12 Landolt 環の正確度(切れ目幅)—5m用ポスター型視力表



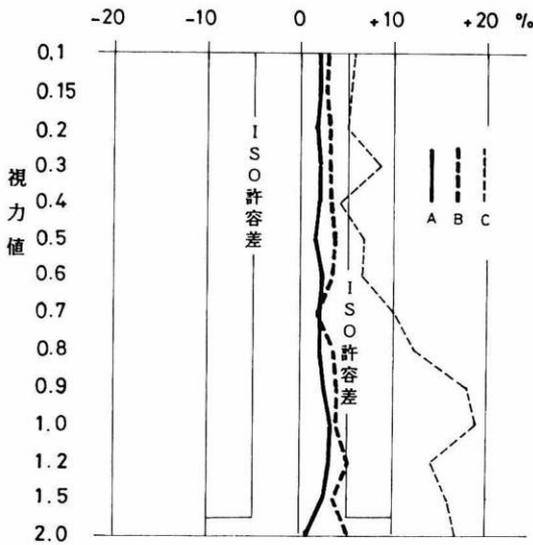
視角に準拠の基準値で正確度を算出

図13 Landolt 環の正確度(外径) -5m用アンドン型視力表



視角に準拠の基準値で正確度を算出

図15 Landolt 環の正確度(切目幅) -5m用アンドン型視力表



視角に準拠の基準値で正確度を算出

図14 Landolt 環の正確度(太さ) -5m用アンドン型視力表

狭まれば視認困難の度を増すのはもとよりだが、環が太くなると切れ目を視認し易くなる傾向を生じ(大島)<sup>160)</sup>、いずれにせよ正確な視力検査のためには視標の寸法の正確さが望ましい。

印刷された視標の正確さは印刷法もさることながら、印刷紙の性状との関係が深い。強い光沢は視力検査結果を不安定にするが、光沢紙はその上、活字の字面から印刷インキが紙面ではみ出ししたり、かすれたりして印刷され易い。平滑で光沢の強いプラスチック面も同様である。さればとって、しなやかさを保てない酸性紙は視力表に適さないのを除くと、無光沢紙は紙の線維に沿ってインキがにじみ出す傾向が強い。そこで視力表にはその折衷を採り、視力検査への影響が少ない弱い光沢紙が使われるが、インキのにじみ、はみ出しを最小限に止める注意が印刷工程、製品検査で必要になる。なお世界最高水準の印刷技術が駆使されている一万円札でも、刷り上りの精度は視力表に要求される次元に至っていないのだが、適切に印刷された製品(例えば図10~12の視力表a)ならば、視力値1.0以下の小さなL環でも正確度をほぼ±5%以内に収めることが十分可能である。

ガラス又はプラスチックの視標板が使われているアンドン式視力表では後方から照明されるため、表面が

なおL環の外径(図10)および太さ(図11)の過大、切れ目幅(図12)の過小は紙製視力表の特に小さな視標に一般的傾向としてみられる。そして切れ目の幅が

平滑であっても強い室内光源等が鏡面反射をもたらす位置に無い限り、視標面の光沢が支障になることはない。そして写真製版の方式で作られた視標の寸法は極めて正確で誤差±3%はおろか±1%以内にもなし得、図13～15の視力表A、B<sup>164)165)</sup>では視角1分を5mmで1.5mmとした基準値が採られているものの、それを中心に上記の誤差範囲に収まっている。しかしアンドロ式市販品のなかには視力表Cのごとく紙製ポスター式の粗悪品と同程度のものもあり、安易な製法では正確な寸法の視標は得られない。

投影式視力表のスクリーン映像は、焦点合わせが正確を欠き視標の輪郭が不明瞭になると、コントラスト低下も生じて見難くなる問題があり、空中像式、電子画像式ではまた異なる問題が孕まれているが、視力測定に当たっての誤差を考慮すれば、むやみに正確な寸法が必要というわけでもなく、最近の国際規格ISO案<sup>189)</sup>ではL環の寸法許容差を±5% (2.0L環のみ±10%)としている。

## VI 視力検査基準化の問題

### 1. 視力検査基準の基本姿勢

視力検査の国際的基準化は長年にわたる懸案である。19世紀後半に近代医学の中での眼科学が体系づけられるにつれ、視力検査の統一を図るべく1909年の国際眼科学会の折、小数視力による表示、標準視標にL環を選定、検査距離に5mを中心とする合意がなされた<sup>3)</sup>のを嚆矢とし、その後度々視力検査の国際的基準化の提案はあったが、その実は果たされず今日に至っている。しかし各国それぞれの国内では、概ね統一された方式の視力検査が行われているのは、あたかも各国固有の言語に譬えたい感がある。

言語の違いがもたらす不便さ、非能率ほどではないにせよ、視力検査の不統一は視力データの交流、比較の上で不便や無駄があり、また、どの方式による検査結果を基準データとすべきかの問題に繋がる所から、視力データを活用する上からの視力検査基準化の要望は古来根強く、今まで各国内あるいは国際間でなされた討議や提案のなかでは、視力表示方式のほか、視力に影響する諸因子としてIV、1に掲げた事項のうち視標や配列ステップ、照明条件、検査距離等が主にとりあげられてきた。

その基準的条件の選定に当たり底流となる思想は、「平均的な人が平均的な日常生活で眼を多く行使する状態」を念頭に置き、理論的技術的要素を考慮して定

める方針が採られてきた。曖昧さを拭えぬ方針であるとはいえ、視力の成立機転を解明する生理学的知見が十分に得られていないからには、心理物理的に捉えられる視力の性状を基に、可能な限りの科学的裏付けを求める立場をとることを前提にしての、かかる思想は今後も生かされねばならないと思われる。

そして、かかる基準条件とは異なる条件下での視力データが必要とされる場合、例えば夜間視力、動体視力あるいはMTFを含めたその他は、基準状態とは別個に取り扱い、特殊視力検査(萩原ほか)<sup>166)</sup>の範疇のなかで取り扱う考え方である。以下、かかる意味での基準条件を中心に取り上げる。

### 2. 視力検査基準化の動向

#### (1) わが国における視力検査の基準化

わが国現行の視力検査は石原(1910)<sup>4)</sup>により基本路線が敷かれた。すなわちその以前には欧州諸国の各種様式の視力表、視力表示法に加えて諸家独自の視力検査が行われていた様相が文献<sup>167)~182)</sup>にみられるが、前記のごとく石原が1909年の国際的合意<sup>3)</sup>を基本に作成した万国式日本試視力表が次第に国内に普及するに及んで、小数視力、L環、検査距離5mを基本路線とする視力検査がわが国に定着した。

その他の検査条件のうちで照明は夙に着目された。「中程度の普通の照明状態すなわち日光の入る明るい室内で行い云々(Hess)<sup>3)</sup>」とされた当初の指針は、大塚<sup>74)</sup>の実験に基づき日本眼科医師会(1938)<sup>183)</sup>より建議された「視力表の照明 $200 \pm 100lx$ 」がその後わが国での視力検査の標準照明条件とされた時代があった。その後、照明器材、建築技術等の進歩に伴い、より明るい照明環境が日常化するに及び、大島ら<sup>75)154)</sup>が測定値のバラツキが少ない照明条件を得た実験結果をも参考にして、視力研究班(萩原ら1964)<sup>166)</sup>から「視力表の白地を $500 \pm 150rlx$ (視力表の照度 $400 \sim 800lx$ )、検査室の照度は $50lx$ 以上で視力表の輝度を上回らない」とされた。

なお視力班基準における照明条件は自動車運転適性検査その他で規範とされたが、この検査基準では、Hess—石原の基本路線を踏まえて実用性を考慮しつつ更に各種の検査条件を規定した。なかでも視力表の品質管理のためにL環の寸法の許容差を±3%(標準)と±10%(准標準)の2段階に定めた視力表規格を掲げたのは、視力検査基準としては世界の先駆けであった。しかし20年余を経た今日、視力班基準の細部には見直しを要する部分が生じているのを否認ない。

## (2) 欧米における趨勢

欧米では視標の基準化と共に、かつては視力表示方式の一本化が第一に取り上げられた。前記 Hess 委員会(1909)<sup>9)</sup>の成案がその最初の現れだったが、現在なお分子6または20の分数視力が多く使われ、アメリカ視覚委員会<sup>184)</sup>からは新たに分子4の分数視力の提唱もある。フランスでは小数視力の亜型ともいえる分母10の分数による表示が独自に行われ、わが国や中国で汎ねく普及している純然たる小数視力のごく一部の国で行われているのに過ぎない。これらの小数視力、分数視力はいずれも視角“分”の逆数であることでは一致しているが(表2)、視力表示の国際的不統一と、それに付随しての検査距離不統一の解消の気運はその後みられない。

かつてアメリカで視力を視角“分”で表わす提案(Ole)<sup>185)</sup>があったが、近年それをMAR (minimum visual angle of resolution)、その対数がlog MARと称され、研究論文に使われる傾向がみられるが、別に対数視力の亜型とも解しうるvisual efficiency 視能率<sup>186)</sup><sup>187)</sup>がアメリカで社会医学的に実用されて久しい。

L環が海外では、視力実験に使われ、また視力検査基準の中で標準視標として掲げられることはあっても(DIN<sup>188)</sup>, ISO<sup>189)</sup><sup>190)</sup>実質的にはあまり使用されず、図形視標ではL環よりむしろE視標が多用される趨勢が続いている。そして臨床ないし社会医学的に行われている視力検査では、ローマ字視標が主として用いられ、それにはSnellen文字<sup>12)</sup>を基本としながらも、その原形に修正を加えたセリフ無しの字体が主体となり、またローマ字相互の視認度の相違も夙に指摘され<sup>135)</sup>、視認の難易差の少ない文字を選んだBS letters<sup>191)</sup><sup>192)</sup>やSloan letters<sup>146)</sup>の発表があった。

## (3) 国際的な視力検査基準化と問題点

視力検査の国際的基準化は今まで眼科領域が中心となって企画されてきたが、そのうち1909年の国際眼科案<sup>3)</sup>が最も多くの影響を残し、殊にわが国でその基本要項が適確に実施されているとはいえ、海外諸国ではそれが殆ど無視されている。国際眼科学会にてその後も視力検査基準化案の討議がなされ<sup>193)</sup><sup>194)</sup>、その国際的統一の必要性は高く認識されているながらも、その実が果たされずにいる根底には、先進各国それぞれで慣行されている方式の根強さがある。

ここで視力検査の国際的基準化の問題を整理すると、小数視力と分数視力で代表される視力表示方式は、

その不統一に基づく不便さが最も広範囲にわたる影響をもたらす所から、第一義の問題とすることができる。そして第二義の問題には、視力検査の一般技術条件、すなわち検査距離、視標等の基本的検査条件の基準化が挙げられる。さらに第三義的には、応用的な技術条件すなわち、照明、光学機器、画像機器などの進歩に伴う科学技術の視力検査機器への応用を考慮に入れる問題が包含される。このうち前記の「視力の日常行使」を参考にしなければならない部分は第二義の問題のなかに含まれる。

眼科領域における従来からの視力検査基準化では、かかる意味合いでの第一義および第二義の問題が取り上げられてきた。しかし1980年以来、工業規格を中心とした国際規格ISO (International Standardizing Organization)で審議が重ねられた視力検査基準化の成案<sup>189)</sup><sup>190)</sup>では、視力表示の小数、分数方式など第一義的問題についての統一には触れずに、各表示方式の視力表示の視標段階の対照表を示してその不統一を容認するのみならず、第二義の問題においても、遠距離視力の検査距離を最少4mとしてアメリカ委員会案<sup>184)</sup>をも取り入れ、照明条件で視力表の明地の輝度が80~320 cd/m<sup>2</sup>とされたのはSheedyら<sup>78)</sup>のデータを参照したとはいえ、諸国で慣行の照明条件を総花的に網羅し包含するに止まり、それらの基準値ないし目標値を掲げて統一への足掛かりを示す基本的立場が示されていないのは、視力検査に直接関わり、その検査結果を活用する実態を踏まえた立場からの審議が行われなかった結果と思われ、視力検査統一の見地はISO案では事実上無視されている。

なおISO視力検査基準案は概して第三義的問題に属するプロジェクター式視力表を主対象に想定した規格とみることができ、そこに示されたL環の寸法許容差±5% (視力値2.0では±10%)は、スライド原版あるいは綿密に作製されたアンドン式視力表、ポスター式視力表ならばいざ知らず、スクリーンに投影される視標像では設計上の寸法許容差であると思われる点に問題があり現実的な規格とはいえない。また第二義の問題に属するが、視力検査のさいの視力決定基準として、「同視力値の視標の過半数を正解したなかで最小の視標が示す視力値を採用」とした視力班基準<sup>166)</sup>は、推測法の理論に発するものであるが(IV, 2, (2), v), ISO案にもそのまま取り入れられている。

視力検査の世界的統一の確立が要望されて久しく、今まで種々の提案がなされたにも関わらず、最も基本

の事項である視力表示方式の不統一の現状は手付かずのまま続いているなど、統一の実は果たされていない。視力よりもさらに一般社会に浸透している度量衡の単位のメートル法への統一は世界的規模で着々と進められている現在、国際間での無駄と不便を解消すべく、視力検査の国際的規格化は将来解決されねばならぬ問題ではあるが、国際的な視力検査の不統一はこれからも当分のあいだ続くであろうことを、視力を扱う立場の者はわきまを対処せざるを得ない現状である。

終わりに、かねて御指導賜りました今は亡き庄司義治先生(元東大教授, 九大名誉教授), 桐澤長徳先生(東北大名誉教授), 萩原 朗先生(元東大教授), 大塚 任先生(医歯大名誉教授), 小穴 純先生(東大名誉教授, 物理), 久保田 広先生(元東大教授, 生技研)に感謝します。

#### 文 献

- 1) **Snellen H**: Echelle typographique, pour mesurer l'acuite de la vision, Utrecht, 1862.
- 2) **Snellen H**: Test-types for the determination of the acuteness of vision, PW van de Weijer, Utrecht, 1862.
- 3) **von Hess C**: Ueber einheitliche Bestimmung und Bezeichnung der Sehschaerfe. Archiv f Augenheilkunde 63: 239—255, 1909.
- 4) 石原 忍: 万国共通試視力表に就き, 日眼 14: 420—440, 1910.
- 5) 大島祐之: 視力の検査. 日本眼科学会編: 日本眼科全書, 東京, 金原, 5: 1/1, 5—124, 1961.
- 6) 大島祐之: 運動適性検査と動体視力・深視力について. 日本の眼科 65: 1039—1040, 1984.
- 7) **Duke-Elder S, Weale RA**: The appreciation of form. In Duke-Elder S (ed): System of Ophthalmal, London, Kimpton, vol 4: 603—616, 1968.
- 8) **Pirenne MH**: Visual acuity. In Davson H (ed): The eye. New York, Academic Press, Vol 2, 175—194, 1962.
- 9) **Aubert H**: Physiologie der Netzhaut. Breslau, Morgenstern, 1865.
- 10) **Hecht S, Mintz EU**: The visibility of single lines at various illumination and the retinal basis of visual resolution. J gen Physiol 22: 593—612, 1939.
- 11) **Gilbert M**: Definition of visual acuity. Brit J Ophthal 37: 661—669, 1953.
- 12) **Hooke R**: The Posthumous Works, London, 1705. (cit. Duke-Elder & Weale<sup>7)</sup>).
- 13) **Wülfing EA**: Ueber den kleinsten Gesichtswinkel. Z Biol 29: 199, 1892.
- 14) **Westheimer G**: The spacial sense of the eye, Proctor lecture. Invest Ophthal 18: 893—912, 1979.
- 15) **Landolt E.**: Optotypes simples, Soc franc d' ophthal, p213 et 465, 1888.
- 16) **Newman M**: Visual acuity. In Moses RA (ed): Adler's Physiology of the Eye, 6th ed, St Louis, Mosby, p500, 1975.
- 17) **Edrige-Green FW**: Physiology of Vision, 59—63, Bell & Sons, London, 1920.
- 18) **Newton I**: Opticks, 4th ed, William Innys, London, 1730. (Republication by Dover Publ, New York, 1952).
- 19) **Campbell FW, Gubisch RW**: Optical quality of the human eye. J Physiol 186: 558—578, 1966.
- 20) **Schultze M**: Zur Anatomie und Physiologie der Retina. Arch Mikr Anat 2: 175—286, 1866.
- 21) 大島祐之: 模型眼の数値. 大塚 任, 鹿野信一編: 臨床眼科全書, 東京, 金原, 2/1: 101, 1970.
- 22) 中村文平: 視力及び視力障害. 河本重次郎, 石原忍編: 大日本眼科全書, 東京, 金原, 6/1: 1—53, 1933.
- 23) **Polyak S**: The Retina, Chicago, University of Chicago Press, 1941.
- 24) **O'Brien B**: Vision and resolution in the central retina. J Opt Soc Amer 41: 882—894, 1951.
- 25) **Monjé M**: Die Sehschärfe. In Verhagen K (ed): Der Augenarzt Stuttgart, Thieme 1: 409—413, 1958.
- 26) **Hartridge H**: Visual acuity and the resolving power of the eye. J Physiol 57: 52—67, 1922.
- 27) **Hartridge H**: The visual perception of fine detail. Phil Trans B 232: 519—671, 1947.
- 28) 大島祐之: 輪郭の明視について(境界対比の検討). 日眼 60: 1088—1094, 1956.
- 29) 大島祐之: 眼の焦点深度について. 日眼 61: 1677—1683, 1957.
- 30) **Oshima S**: Studies on the depth of focus of the eye. Jap J Ophthal 2: 63—72, 1958.
- 31) 長谷川俊六: 眼の焦点深度. 眼紀 3: 110—113, 1952.
- 32) **Miles PW**: Depth of focus and amplitude of accommodation through trifocal glasses. Arch Ophthal 49: 271—279, 1953.
- 33) **Schwartz JT, Ogle KN**: The depth of focus of the eye. Arch Ophthal 61: 578—588, 1959.
- 34) **von Bahr G**: Studies on the depth of focus of the eye. Acta Ophthal 30: 39—47, 1952.
- 35) **Campbell FW, Green DG**: Optical and retinal factors affecting visual resolution. J Physiol 181: 576—593, 1965.
- 36) **Westheimer G**: Modulation thresholds for sinusoidal light distributions on the retina. J Physiol 152: 67—74, 1960.

- 37) 大庭紀雄, 小沢哲磨: 干渉縞パターンによる視力測定について, 眼臨 66: 855—859, 1972.
- 38) 白土城照: レーザー視力測定法, 眼科 22: 161—164, 1980.
- 39) **Campbell FW, Gubisch RW**: Optical quality of the human eye. *J Physiol* 186: 558—578, 1966.
- 40) **Adler FH**: *Physiology of the eye*. 2nd ed, St Louis, Mosby, 1953.
- 41) 大島祐之: 視覚に関する学説最近の進歩, 萩原朗, 浅山亮二, 大塚 任編: 眼科最近の進歩, 東京, 医歯薬出版, 307—317, 1955.
- 42) 大島祐之: 視力, 萩原 朗編: 眼の生理学, 東京, 医学書院, 47—77, 1966.
- 43) **Westheimer G**: Visual acuity, In Moses RA (ed): *Adler's Physiology of the Eye*, 7th ed, St Louis, Mosby, 530—544, 1981.
- 44) **Hubel DH, Wiesel TN**: Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex. *J Physiol* 148: 574—591, 1959.
- 45) **Hubel DH, Wiesel TN**: Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *J Physiol* 160: 106—154, 1962.
- 46) **Hubel DH, Wiesel TN**: Receptive fields and functional architecture of two nonstriate visual cortex (18 and 19) of the cat. *J Neurophysiol* 28: 229—289, 1965.
- 47) **Hubel DH, Wiesel TN**: Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *J Physiol* 195: 215—243, 1968.
- 48) **Hubel DH, Wiesel TN**: Sequence regularity and geometry of orientation columns in the monkey striate cortex. *J Comp Neurol* 158: 267—294, 1974.
- 49) **Hubel DH, Wiesel TN**: Functional architecture of macaque monkey visual cortex, Ferrier Lecture. *Proc Roy Soc Lond B* 198: 1—59, 1977.
- 50) **Westheimer G**: Fourier analysis of vision. *Inv Ophthalmol* 12: 86—87, 1973.
- 51) **Westheimer G**: Visual acuity. *Ann Rev Psychol* 16: 359—380, 1965.
- 52) **Dreyer V**: Visual acuity. *Ophthalmologica* 169: 61—69, 1974.
- 53) **Laurance L**: *Visual Optics and Sight Testing*, 3rd ed, London, School of Optics, 1926.
- 54) **Hirsch MJ**: Relation of visual acuity to myopia. *Arch Ophthalmol* 34: 418—421, 1945.
- 55) **Sloan LL**: Measurement of visual acuity, a critical review. *Arch Ophthalmol* 45: 704—725, 1951.
- 56) **Peters HB**: The relationship between refractive errors and visual acuity at three age levels. *Am J Optometry* 38: 194—198, 1961.
- 57) 山地良一: レンズ装用による視力低下の理論, 日眼 52: 95—96, 1948.
- 58) 中島 章: 屈折異常眼による視標の見え方, 日眼 56: 135—138, 1952.
- 59) 向山昌信: 屈折異常眼と裸眼視力, 日眼 68附(萩原記念誌): 160—168, 1964.
- 60) **Wertheim T**: Ueber die indirekte Sehschärfe. *Z Psychol Physiol Sinnesorgan* 7: 172—189, 1894.
- 61) **Weymouth FW, et al**: Visual acuity within the area centralis and its relation to eye movements and fixation. *Am J Ophthalmol* 11: 947—960, 1928.
- 62) 中村 康, 本郷 進: 邦人中心外視力に就いて, 日眼 34: 615—618, 1930.
- 63) 萩原 朗, 尾高英之, 松浦正章: 周辺視野に於ける形態視力, 眼紀 1: 62—65, 1950.
- 64) 山地良一: 中心外視力の研究(第1報), 眼臨 45: 65—67; (第2報), 眼臨 45: 324—327; (第3報), 日眼 55: 693—696, 1951.
- 65) **Troland LT**: The theory and practice of the artificial pupil. *Psychol Rev* 22: 167—176, 1915.
- 66) **Troland LT**: On the measurement of visual stimulation intensities. *J Exp Psychol* 2: 1—33, 1917.
- 67) **de Groot SG, Gebhard JW**: Pupil size as determined by adapting luminance. *J Opt Soc Am* 42: 492—495, 1952.
- 68) 藤崎 茂: 瞳孔並びに輝度が視力に及ぼす影響に関する実験的研究, 日眼 63: 2841—2865, 1959.
- 69) **Stiles WS, Crawford BH**: The luminous efficiency of rays entering the pupil at different points. *Proc Roy Soc Lond B* 112: 428—450, 1933.
- 70) **Enoch JH, Scandrett J**: Human foveal far-field radiation pattern. *Inv Ophthalmol* 10: 167—170, 1971.
- 71) 武田啓治, 八百枝浩, 岩田和雄: 光束の平行移動によるパターン認識, その1, 臨眼 28: 1341—1345, 1974.
- 72) **Krakau CET**: On the Stiles-Crawford phenomenon and resolution power. *Acta Ophthalmol* 52: 581—583, 1974.
- 73) **Lythgoe RJ, Corkill DE, Pearson ES**: The measurement of visual acuity. *Med Res Council Sp Rep Ser* 173: 5—82, 1932.
- 74) 大塚 任: 試視力表の照明に関する研究, 日眼 42: 890—904, 1938.
- 75) 大島祐之: 視力測定に於ける誤差並びに標準照度に就て, 日眼 54附(庄司記念誌): 85—94, 1950.
- 76) 篠田 茂: 推測法による視力測定に関する研究,

- (2) 照明と視力変動について, 日眼 67: 65—80, 1963.
- 77) 池田紘一, 野田貢次, 山口昌一郎: 均一な背景の下における順応輝度とランドルト環視力, 照明学会誌 64: 591—597, 1980.
- 78) Sheedy JE, Bailey IL, Baasch TW: Visual acuity and chart luminance. *Am J Optom & Physiol Opt* 61: 595—600, 1984.
- 79) Cobb PW, Moss FK: The relation between extent and contrast in the liminal stimulus for vision. *J Exp Psychol* 10: 350—364, 1927.
- 80) 大塚 任, 本多得二: 種々なる照度下に於ける視力と対比との関係に就て, 日眼 44: 2253—2259, 1940.
- 81) Ludvigh E: Effect of reduced contrast on visual acuity as measured with Snellen test letters. *Arch Ophthal* 25: 469—474, 1941.
- 82) 長南常男, 市川 宏: 対比視力表の試作, 眼臨 65: 518—522, 1971.
- 83) May GA, Chesters MS: Signal-transfer functions in threshold and supra-threshold vision. *J Opt Soc Am* 62: 990—998, 1972.
- 84) 長南常男: 視力表の反射率とパーセント・コントラストの経年変化, 眼臨 68: 16—18, 1974.
- 85) 池田紘一, 野田貢次, 山口昌一郎: ランドルト環視標の輝度対比および順応輝度と視力との関係, 照明学会誌 67: 527—533, 1983.
- 86) 大塚 任: 明室及び暗室に於ける視力の差異に就て, 日眼 44: 2065—2067, 1940.
- 87) Graham WS, Cook C: Visual acuity as a function of intensity and exposure time. *Am J Psychol* 49: 654—661, 1937.
- 88) 高 太郎: 視速度に関する研究, 日眼 42: 172—195; 同(続) 色彩視標の場合, 日眼 42: 705—718, 1938.
- 89) 大山信郎: 視力に関する研究(1), 臨眼 5: 103—104, 1951; 同(2), 日眼 55: 689—692, 1951.
- 90) 本田 博: 瞬間中心視力, 日眼 59(下): 489—495, 1955.
- 91) Baron WS, Westheimer G: Visual acuity as a function of exposure duration. *J Opt Soc Am* 63: 212—219, 1973.
- 92) Gilinsky AS: Orientation-specific effects of patterns of adapting light on visual acuity. *J Opt Soc Am* 58: 13—18, 1968.
- 93) Sekuler RW, Rubin EL, Cushman WH: Selectivities of human visual mechanism for detection of movement and contour orientation. *J Opt Soc Am* 58: 1146—1150, 1968.
- 94) 神谷貞義, 山本時彦: Moire Patternsを用いた視力測定法について, (その2) 遠隔操作付き縞視力測定器の構造と使用法, 眼紀 23: 210—222, 1972.
- 95) 鈴木昭弘: 動体視力の研究, 日眼 65: 1736—1750, 1961.
- 96) 鈴木昭弘: 動体視力の研究, 特に動体調節について, 附, 動体視覚複合テスト装置の試作, 日眼 68: 1277—1288, 1964.
- 97) 萩野鋲太郎: 動いている物の見え方に関する研究, 日眼 59: 743—745, 1955.
- 98) Bhatia B, Verghese CA: Threshold size of a moving object as a function of its speed. *J Opt Soc Am* 54: 948—950, 1964.
- 99) Jaeger W, Honegger H: Untersuchungen über Schärfe für bewegte Objekte. von Gr Arch f Ophthal 166: 583—600, 1964.
- 100) Westheimer G, McKee SP: Visual acuity in the presence of retinal-image motion. *J Opt Soc Am* 65: 847—850, 1975.
- 101) 萩野鋲太郎, 鈴木勇雄: 遠距離視力に関する研究, 日眼 52: 101—104, 1948.
- 102) 大島祐之: 東京都心地域における大気汚濁と視力, 日眼 76: 496—503, 1972.
- 103) 大島祐之: 大気汚染と視力の行使—東京都心地域における年間推移, 日眼 79: 1225—1231, 1975.
- 104) Duke-Elder S, Smith RJH: Form sense. In Duke-Elder S (ed): *System of Ophthalmology*, London, Kimpton, vol 7, 368, 1962.
- 105) 大山信郎: 乳幼児の視力, 日眼 54附(庄司記念誌): 104—107, 1950.
- 106) Teller DY, Morse R, Borton R, et al: Visual acuity for vertical and diagonal gratings in human infants. *Vision Res* 14: 1433—1439, 1974.
- 107) Dobson V, Teller D: Visual acuity in human infants, a review and comparison of behavioral and electrophysiological studies. *Vision Res* 18: 1469—1483, 1978.
- 108) 富安仙之: 視力の変動, 視力(文部省学術研究会議報告書): 33—39, 1949.
- 109) 小島 克: 視認力の動揺と戻りの現象, 臨眼 5: 18—19, 1951.
- 110) 羽生田進: 視力測定に於ける形態神の出現閾と消失閾との差異について, 日眼 44: 1552—1556, 1940.
- 111) 小島 克: 視標視認における前進後退視認の関係, 臨眼 5: 369—372, 1951.
- 112) 清家満馬: 視力に関する研究(透視距離及び確認距離と照度との関係に就て), 日眼 47: 866—870, 1943.
- 113) 清家満馬: 視力に関する研究(第1報), 透視距離及び確認距離と照度に関する基礎的研究, 日眼 48: 205—224, 1944.
- 114) 大島祐之, 篠田 茂, 高垣益子, 榎本辰男: 視力の閾値の基準化について, 日眼 67: 442—451, 1963.
- 115) 中川順一: 視力測定と其確率論的意義に就て, 日

- 大医学雑誌 4: 242—251, 1940.
- 116) 篠田 茂: 推測法による視力測定(1). 推測法の簡易化について. 日眼 66: 284—289, 1962.
- 117) Fantz RL: Pattern vision in young infants. Psychol Rev 8: 43—47, 1958.
- 118) Fantz RL, Ordy JM, Udelf MS: Maturation of pattern vision in young infants during the first six months. J Comp Physiol Psychol 55: 907—917, 1962.
- 119) 勝海 修, 守田好江, 山田涼子他2: Preferential Looking (P.L.) 法の臨床的応用について, 測定装置と乳児内斜視の症例を中心として. 眼臨 74: 1587—1593, 1980.
- 120) 勝海 修: 乳幼児における視力検査. 眼科 24: 1059—1068, 1982.
- 121) Westheimer G: Scaling of visual acuity measurements. Arch Ophthal 97: 327—330, 1979.
- 122) Ohm J: Objektive Prüfung der Sehleistungen mit Hilfe der optokinetischen Augenbewegung, Stuttgart, Ferdinand Enke, 1953.
- 123) Goldmann H: Objektive Sehschärfenbestimmung. Ophthalmologica 105: 240—263, 1943.
- 124) Günther G: Objektive Sehschärfenbestimmung, Carl Marhold, Salle, 1950.
- 125) 中尾圭一, 木勢恵三, 谷口一郎他1: 他覚的視力測定法の臨床応用(他覚的視力測定法について, 第5報). 臨眼 12: 331—338, 1958.
- 126) 山地良一, 山中寿美子: 視力の他覚的測定に関する研究(第1報). 日眼 61: 1603—1612, 1957.
- 127) 山地良一, 山中寿美子, 大矢部篤子他6: 視力の他覚的測定に関する研究(第2報). 日眼 62: 219—225, 1958; (第3報) 日眼 63: 231—234; (第4報) 日眼 63: 3051—3054; (第12報) 日眼 63: 1872—1891, 1959.
- 128) 檜崎嗣郎, 神沢幸吉, 池田弘之助他4: 詐盲の研究. 第1報. 他覚的視力測定法の比較研究について. 臨眼 14: 506—513, 1960.
- 129) 筒井 純: 小児視力の発達と検査法. 眼科 9: 963—967, 1967.
- 130) 筒井 純: 他覚的視力の測定と詐盲診断. 眼紀 36: 2147—2152, 1985.
- 131) 安達恵美子: 視力と視覚誘発電位. 日本眼光学学会誌 3: 1—10, 1982.
- 132) 大島祐之: 所謂他覚視力検査に対する疑義. 眼臨 52: 825—829, 1958.
- 133) 井上達二: 環状, 鉤状, 一二三, イロハ及び図画試視力表に就て. 日眼 18: 935—936, 1914.
- 134) 井上達二: ランドルト氏環状試力表と子の鉤状試視力表との比較. 日眼 19: 399—458, 1915.
- 135) Elschnig A, Gnad F: Standardisierung der Sehschärfenbestimmung. Arch für Augenheilk 102: 475—496, 1930.
- 136) 山森 昭: 六六環の研究. 第1報, 眼臨 44: 12—13; 第2報, 眼臨 44: 55; 第3報, 眼臨 44: 105—106, 1950.
- 137) 山森 昭: 環状視標の研究. 日眼 55: 300—306, 1951.
- 138) 山地良一, 野地道彦: 私達の試作した小児試視力表に就て. 眼紀 1: 236—238, 1950.
- 139) 山地良一, 遠藤美恵子: 再び私達の試作した小児試視力表に就て. 眼臨 46: 658—660, 1952.
- 140) 初田博司: 中村式万国式平仮名試視力表. 日本医大誌 17: 18—19, 1950.
- 141) 大島祐之: 視力の臨床検査について. 眼科 1: 302—307, 1959.
- 142) 学術研究会議視力委員会編: ひらかな視力表. 東京, 金原, 1949.
- 143) 山地良一: 私の試作した平仮名試視力表に就て. 臨眼 8: 851—852, 1954.
- 144) 大島祐之, 篠田 茂, 榎本辰男他2: 新作平仮名視力表について. 臨眼 19: 315—325, 1965.
- 145) 大島祐之, 高垣益子, 篠田 茂他1: 視力検査用の新作平仮名視標. 臨眼 17: 945—950, 1963.
- 146) Sloan LL: New test charts for the measurement of visual acuity at far and near distances. Amer J Ophthal 48: 807—813, 1959.
- 147) Lippmann O: Vision of young children. Arch Ophthal 81: 763—775, 1969.
- 148) 湖崎 克: 弱視児の指導. 臨眼 18: 1173—1179, 1964.
- 149) 湖崎 克, 吉原正道: 小児の視力の特性. 眼紀 15: 117—124, 1964.
- 150) 植村恭夫: 弱視検査法. 眼科 8: 837—843, 1966.
- 151) Ffooks O: Vision test for children—use of symbols. Brit J Ophthal 49: 312—314, 1965.
- 152) 湖崎 克: 3歳児健康診査における視力検査の検討. 臨眼 24: 211—217, 1970.
- 153) Ryba J: Uebertragbare Optotype von 1 m zur Ermittlung der Sehfehler bin kleinen Kindern, Klin M Augenhkd 157: 92—94, 1970.
- 154) 大島祐之, 榎本辰男, 篠田 茂, 高垣益子: 視力検査の標準装置試案. 日眼 66: 773—781, 1962.
- 155) 筒井 純, 深井小久子, 早川友恵他3: パソコンを利用した自覚的視力測定装置の試作. 日本眼光学学会誌 6: 114—118, 1985.
- 156) 深井小久子, 早川友恵, 難波哲子他1: パソコンを利用した自覚的・他覚的視力測定装置の開発. 日本視能訓練士協会誌 13: 116—119, 1985.
- 157) Landolt E: Die Bestimmung der Sehschärfe, Gräfe-Saemisch Handuch der gesamten Augenheilkunde. 3. Auf Bd 3, Berlin, Springer, 1920.
- 158) 大山松次郎, 長江一雄: 試視力表のランドルト氏環に就て. 照明学会誌 22: 435—440, 1938.
- 159) 清家満馬, 山本正一: 各種試視力表のランドルト

- 氏環, スネルレン氏鈎の実測値, 日眼 48: 109—120, 1944.
- 160) 大島祐之: ランドルト環の正確度に就て, 日眼 54 附(庄司記念誌): 95—103, 1950.
- 161) 初田博司: 現行各種試視力表のラ環の検討, 臨眼 4: 465—467, 1950.
- 162) 大島祐之, 榎辰辰男, 篠田 茂, 高垣益子: 正確な Landolt 環の試作, 日眼 66: 198—203, 1962.
- 163) 早川宏道: ランドルト氏環の正確度, 眼臨 59: 31—34, 1965.
- 164) 神谷貞義, 三ツ谷繁男: 回転式遠隔制御視力検査機について, 眼臨 28: 1241—1245, 1974.
- 165) 大島祐之: 視力検査基準と視力表, 日本眼光学学会誌 6: 101—106, 1985.
- 166) 萩原 朗ほか: 視力の検査基準について, 日本医事新報 2085: 29—34, 1964.
- 167) 松田 操: 写真試視力表, 井上研究会 2: 35, 1889 (抄, 眼証1: 448).
- 168) 寺西幸作: 試視力表の改正を要す, 軍医学会雑誌 51: 1—4, 1892.
- 169) 今沢電太郎: 新式視力検査法, 医事 2080, 1894 (抄, 眼証2: 465).
- 170) 前田珍男子: 試視力表に就て, 愛知医学会雑誌 5: 51—52(会), 1895.
- 171) 美甘光太郎: 試視力表修正案, 眼科雑誌 2: 209—221, 1895.
- 172) 大西克知: 試視力表修正案附言, 同上 213—221, 1895.
- 173) 清沢 実: 新案試視力表器に就て, 九州医学会誌 6: 28(会), 1898.
- 174) 前田珍男子: 自家考案の試視力框に就て, 日眼 4: 290—295, 1900.
- 175) 堤 友久: 自家考案の円形試視力板, 日眼 5: 248—250, 1901.
- 176) 新見 直: ランドルト氏新試視力表, 日眼 5: 1283, 1901.
- 177) 新見 直: 余の製図に係るランドルト氏新試視力表に就て, 日眼 6: 547—556, 1902.
- 178) 清沢 実: 視力表 Sehfigur, 日眼 6: 917—920, 1902.
- 179) 中村秀樹: 隠頭式試視力匣の実験, 軍医学会雑誌 135: 191—197, 1903.
- 180) 二木義男: 視力表使用方法に就ての考案, 軍医学会雑誌 135: 197—203, 1903.
- 181) 水尾源太郎: 余が考案せる視力計に就て, 大阪医学会雑誌 6: 137(会), 1907.
- 182) 機林美元: 隠現視力表に就て, 11月善通寺医学会, 1909 (抄, 眼証4: 611).
- 183) 日本眼科医師会: 試視力表の照明統一建議, 眼臨 33: 428, 1938.
- 184) NAS-NRS Committee on Vision, Working Group 39: Recommended standard procedures for the clinical measurement and specification of visual acuity. Adv Ophthal vol 41: 103—148, Basel, Karger, 1980.
- 185) Ogle KN: On the problem of an international nomenclature for designating visual acuity. Am J Ophthal 36: 909—920, 1953.
- 186) Snell AC, Sterling S: Percentage evaluation of macular vision. Arch Ophthal 54: 443—461, 1925.
- 187) American Medical Association: Estimation of loss of visual efficiency. Arch Ophthal 54: 462—468, 1955.
- 188) Deutsches Institut für Normung: DIN 58: 220 B1 1.3. Sehschärfenbestimmung, Beuth-Vertrieb, 1974.
- 189) ISO/TC 172/SC 7: Visual acuity testing…… Standard Optotype and its presentation, ISO/DIS 8596, p2—7, Pforzheim, International Organization for Standardization, 1985.
- 190) ISO/TC 172/SC 7: Visual acuity testing…… Correlation of optotypes, ISO/DIS 8597, p2—5, International Organization for Standardization, 1985.
- 191) British Standards Institution, Sub-Committee M/48/4: Ophthalmic Test Types. Brit J Ophthal 49: 501—503, 1965.
- 192) British Standards Institution: Specification for test charts determining distance visual acuity, BS 4274, London, British Standards House, 1968.
- 193) 中島 章: 1984年度国際眼科学会理事会, 日眼 89: (1)号末, 会員談話室, 1985.
- 194) 中島 章: 1985年度国際眼科学会理事会, 日眼 89: (10)号末, 会員談話室, 1985.