

文字の見え方評価方法

小林 富士男・坪井 始・田中 始男・美咲 隆吉・富田 将英

An Evaluation Method for Appearance of Characters

Fujio KOBAYASHI, Hajime TSUBOI, Motoo TANAKA, Takayoshi MISAKI
and Masahide TOMITA

ABSTRACT

With respect to characteristics of eyes, a large number of studies have been done from standpoints of physiology, psychology, psychology physics and engineering etc. In field of image science and technology, the researches on image quality or fidelity are reported already. However, a subject for appearance of characters requires visual experiment. In this paper, an evaluation method for appearance of characters is devised without directly depending on the visual experiment. A visual cell of the retina is regarded as the array of a photoelectric element with a equivalent size. The measuring method is also proposed by the characters which are sampled on the photoelectric array. In case a lot of cells is stimulated, we consider four cells around a center cell. When four pieces receive stimulation, the cell at the center will not contribute to an outline formation. This cell is named F cell. On the other hand, 1 piece or any more surroundings of the center cell do not receive stimulation, the center cell is named C cell. If it is assumed that number of cells which receive stimulation is N_E , number of C cells is N_C and number of F cells is N_F , the following expression is established.

$$N_E = N_C + N_F$$

It is concluded that the suitable ratio N_F/N_E is 0.5 as an evaluation standard of characters.

1. はしがき

人間の眼の特性については、生理学、心理学、心理物理学、工学等の立場から多数の研究が報告されている。特に、最近の視覚工学、画像工学において対象となる画質や見えの問題を扱った研究も多くなっているが、最終的には視覚実験による評価に依存しなければならないという点から工学的に追究するのに困難を伴う。

本研究では、視覚対象を英数字と漢字に限定し、その見え方を直接視覚実験によらずに評価する方法を考える。

網膜の視細胞の大きさを従来発表されているデータから導き、網膜の視細胞を等価的な大きさをもつ光電素子の配列と見なす。この光電素子アレイは網膜上に結像した文字図形の照度分布を2次元的に標準化する機能をもつとして、標準化作用および標準化された文字図形について評価するための尺度を提案する。

2. 網膜の電子モデル

光受容器としての視細胞には、すい状体とかん状体が

ある。すい状態は網膜中心に分布して、明所視において形態覚や色覚をもっている。網膜上の視細胞の分布から中心視と周辺視の分類があるが、ここでは中心視に限定して考えることにする。形態覚を左右する因子に視力があるが、視力は空間の不均一性を見分ける能力であって、あらゆる形の認知の根本をなすものである。

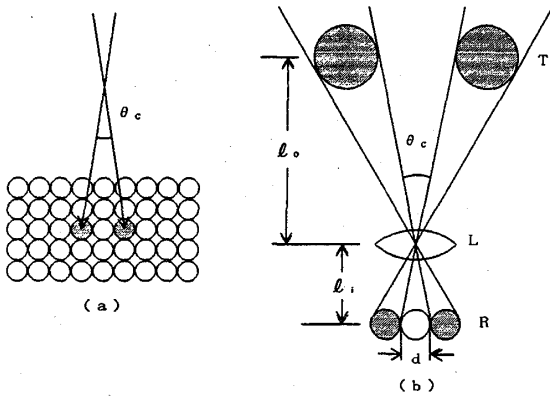


Fig.1 Model of visual cells.

視力の分類として、最小視認いき、最小分離いき、最小可読いき、副尺視力がある¹⁾。本研究で、とくに重要視するのは最小分離いきである。通常、最小分離いきは視標の2点を識別できる最小の視角 θ_c の逆数で表される。2点が分離して見分けられる条件として、Helmholtzは図1(a)に示すように網膜R上で刺激を受ける2個のすい状態の間に、少なくとも1個以上の刺激を受けないすい状態が存在しなければならないと考えた。この仮設は現象論的に有効性があるので、工学的立場から採用することにする。図1(b)は、この仮設に基づいて2点視標Tの最小分解角 θ_c (rad) から、すい状態の有効直径d (mm) を求める方法を示したもので、次式で与えられる。

$$d = l_i \cdot \theta_c \tag{1}$$

ただし、 l_i は眼の結節点から網膜までの距離である。

視力1.0は $\theta_c = 1.0 \text{ (min)} = 2.9 \times 10^{-4} \text{ (rad)}$ に対応する。 $l_i = 17 \text{ (mm)}$ とすると式(1)は

$$d = 17\theta_c \tag{2}$$

となる。2点分離いきは視標の照度を変えると変化し、図1(b)の視標Tの照度を低くすると θ_c は大となるので、すい状態の有効直径dは暗くなると次第に大きくなる。

視力の明るさに対する依存性について、Moon-Spencer²⁾はランドルト環視標のadaptive helios H_A に対するminimum visual angleの実験式を与えた。しかし、heliosの単位であるblondelは余り使用されていない。また完全拡散面については、 lm/m^2 (=rlx) で表した数値とblondelで表した数値は等しくなるので、heliosの代わりに光束発散度M (lm/m^2) に対する最小識別角 θ_c

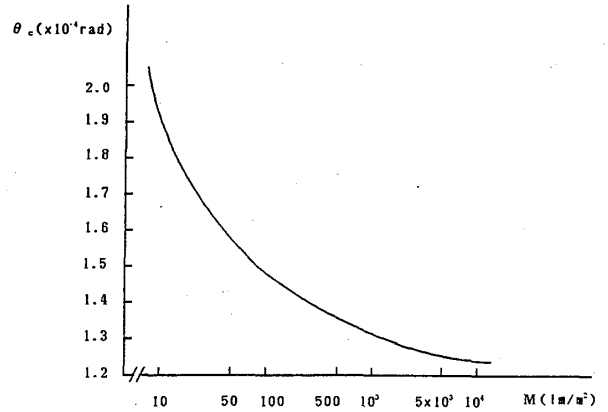


Fig.2 Curve of minimum discriminating angle.

の式に書き直すと、

$$\theta_c = \frac{118.3 \times 10^{-6}}{M} (0.412 + M^{1/3})^3 \tag{3}$$

となる。また式(3)を式(2)に代入すると次式が得られる。

$$d = \frac{17 \times 118.3 \times 10^{-6}}{M} (0.412 + M^{1/3})^3 \tag{4}$$

図2は式(3)の関係を図示したものである。

3. 2次元標本化

眼が外界の視対象を注視するとき、網膜上には視対象の輝度分布に対応する照度分布が形成される。この照度分布は一般には2次元連続関数である。しかしながら、網膜面上を十分微小な距離をもって網目状に分解し、各網目の照度の値を要素とする行列を構成すれば、その行

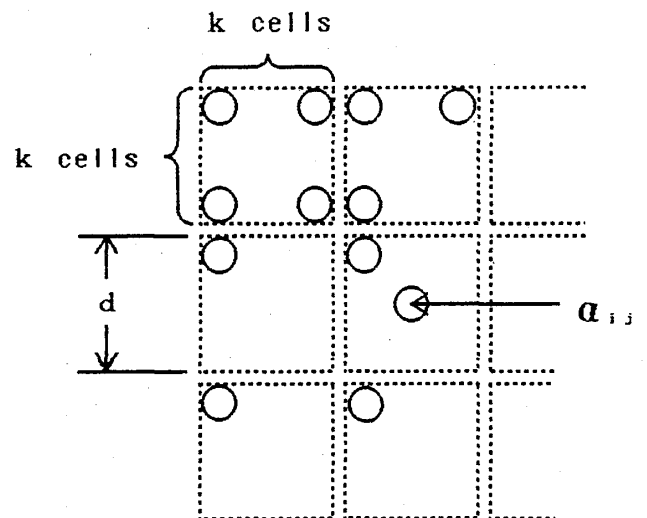


Fig.3 Sampling of cone cells.

列は近似的に網膜の照度分布を表す。この行列を網膜照度行列と呼び、次のように表す。

$$[a_{ij}] = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (5)$$

ただし、 $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$ とする。また、 n の値は後に述べる標本化次数 k に比べて十分大とする。物理的には式(5)の行列要素 a_{ij} は網膜上の (i, j) 番地の照度を与えるもので、 n の値が極めて大となるため網膜照度行列は巨大行列となる。

有効直径 d なる1個の視細胞の中には図3に示すように、 $(k \times k)$ 個の網膜照度行列要素が含まれると考える。このように考えると、すい状体細胞は網膜照度行列を $(k \times k)$ 個の要素ずつを1まとめに、2次元的に標本化する働きをすることになる。この結果、すい状体が規則正しく行列状に配列されているとして、 (u, v) 番地のすい状体の平均照度 b_{uv} は

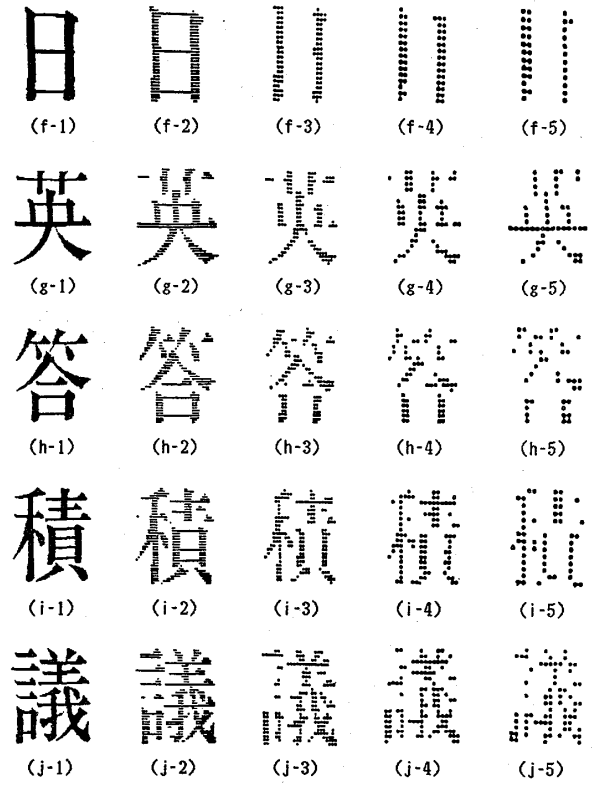


Fig.5 Sampling figures of Chinese characters.

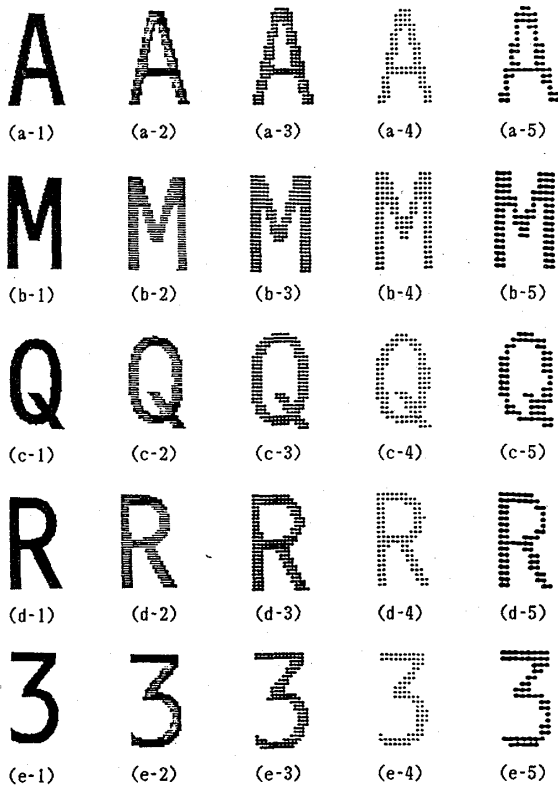


Fig.4 Sampling figures of alphabetic and numerical characters.

$$b_{uv} = \frac{1}{k^2} \sum_{i=k(u-1)+1}^{ku} \sum_{j=k(v-1)+1}^{kv} a_{ij} \quad (6)$$

となる。ただし、 $u = 1, 2, 3, \dots, n/k$
 $v = 1, 2, 3, \dots, n/k$
 である。

4. 文字の標本化

図4は実験に用いたISO-OCR-Bフォントの英数字視標5種について、また図5は明朝体の漢字視標5種について標本化条件を変えたときの再現図形を示したもの

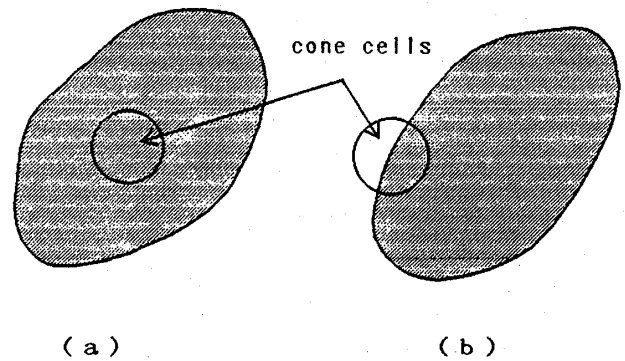


Fig.6 Visual cell and its light stimulus.

である。ISO-OCR-Bフォント、サイズIIの英数字の高さ h は2.8 (mm) である。また、わが国の出版物で使用される活字では8ポイントのものが最も多く、その文字の高さ h は2.81 (mm) である³⁾。

図1 (b)における $l_i=17$ (mm)、観測距離 $l_o=300$ (mm)とし、すい状体の有効直径 $d=4.9\times 10^{-3}$ (mm)と仮定すると、網膜上に結像した文字の高さ $h'=h\times l_i/l_o$ となるから、 $h'/d=32$ となる。いま、 $h'/d=r$ とおくと、 r の値は1つの標準化条件を表す指標になる。図4、5の第1列は $1/r=1/80$ に対するもので、以下第2列、

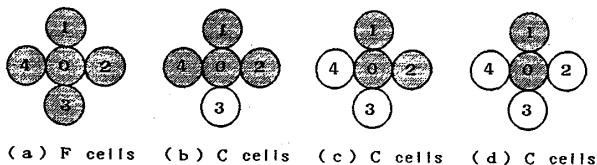


Fig.7 Classification of visual cells which are stimulated.

第3列、第4列、第5列は $1/r$ をそれぞれ $2/80$ 、 $3/80$ 、 $4/80$ 、 $5/80$ としたときの標準化図形である。両図をみれば、 $1/r$ の値が大きくなる程、標準化図形の画質は劣下することが明らかである。また同じ $1/r$ の値でも、構造複雑な漢字の方が簡単な英数字より激しく劣下している。

文字を標準化するとき、各すい状体に対する光刺激の照射状態は種々な場合が考えられる。たとえば、図6(a)に示すように1個のすい状体を完全に覆うように刺激が加わる場合と、同図(b)に示すようにその1部分が刺激を受ける場合が考えられる。本実験では、1個のすい状体の面積の70%を1つの基準とし、細胞の刺激を受けている面積 (図の斜線部分) がこの値を超えているときは、その細胞の出力を1とする。それに対して刺激を受ける面積がそれ以下のときは、その細胞の出力を0とするよ

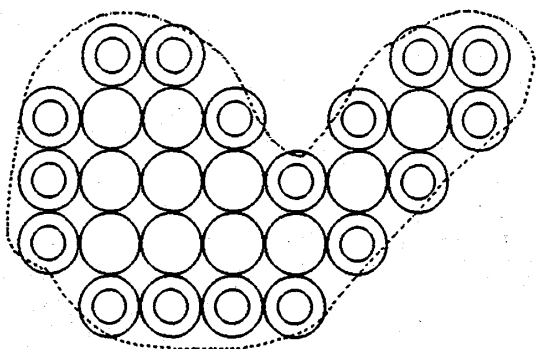


Fig.8 Group of visual cells which are stimulated.

うにしきい値を定める。このしきい値のレベルを変えると標準化図形は若干変化する。

5. 標準化文字の見え方の評価基準

刺激を受けたすい状体の働きによって、大脳で形態覚を生ずることになるが、その場合、図形の輪郭を形成する視細胞が特に重要である。刺激を受けている多数の細胞があるとき、その中でどの細胞が輪郭形成に寄与するかを決定するため、図7に示すように1個の視細胞 (図

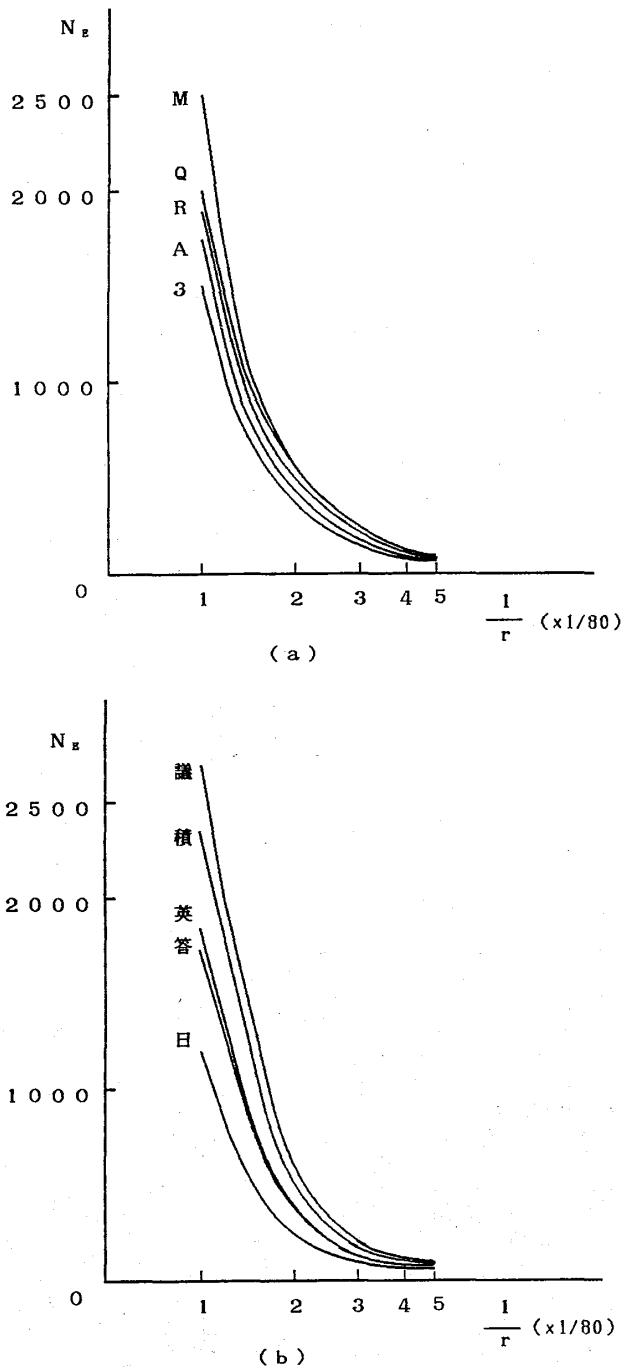


Fig.9 Sampling characteristics of characters (part 1).

の0番細胞)を中心にして上下左右の4個の細胞(図の1~4番)を考える。これら周辺の細胞が4個とも刺激を受けている図(a)のような場合には、0番の細胞は輪郭形成には寄与しないので、この場合F細胞と名付ける。それに対して、図(b)、(c)、(d)では0番細胞の周囲のうち少なくとも1個、またはそれ以上の細胞が刺激を受けていない状態であり、これらの場合の0番細胞は輪郭を形成するのに寄与するので、この状態の0番細胞をC細胞と名付ける。

図8は、点線で囲まれた領域の細胞群が刺激を受けて興奮していて、上述した規則を適用すると、二重丸を施した細胞はC細胞に、また一重丸の細胞はF細胞となることを示している。このように定義し、刺激を受けている視細胞の数を N_E 、C細胞の数を N_C 、F細胞の数を N_F とすると、

$$N_E = N_C + N_F \tag{7}$$

となる。

図4、5のデータについて r に対する各文字の N_c および

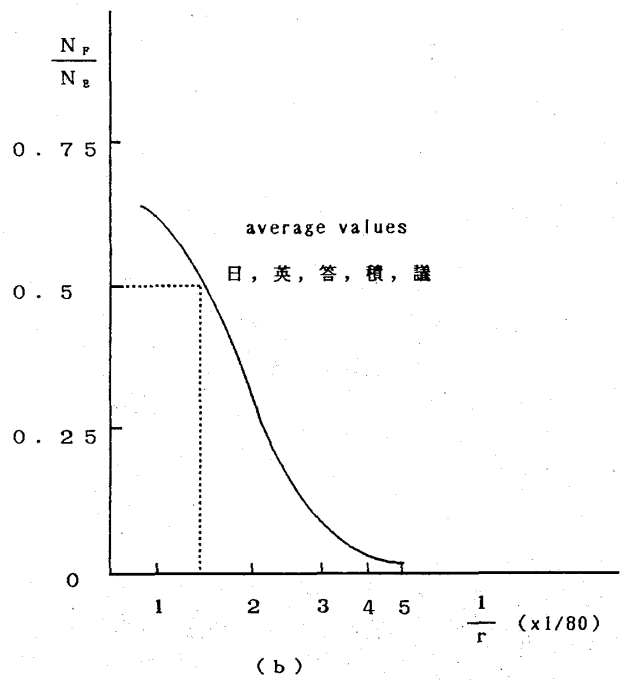
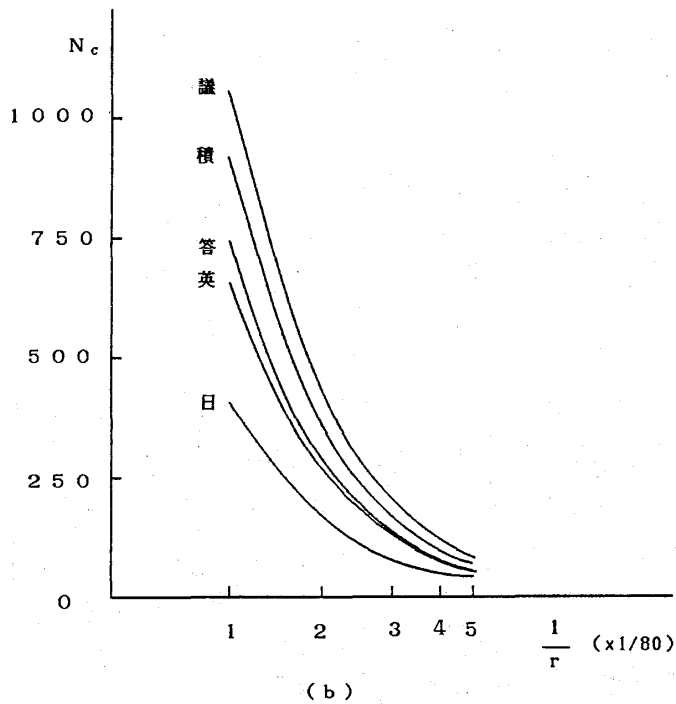
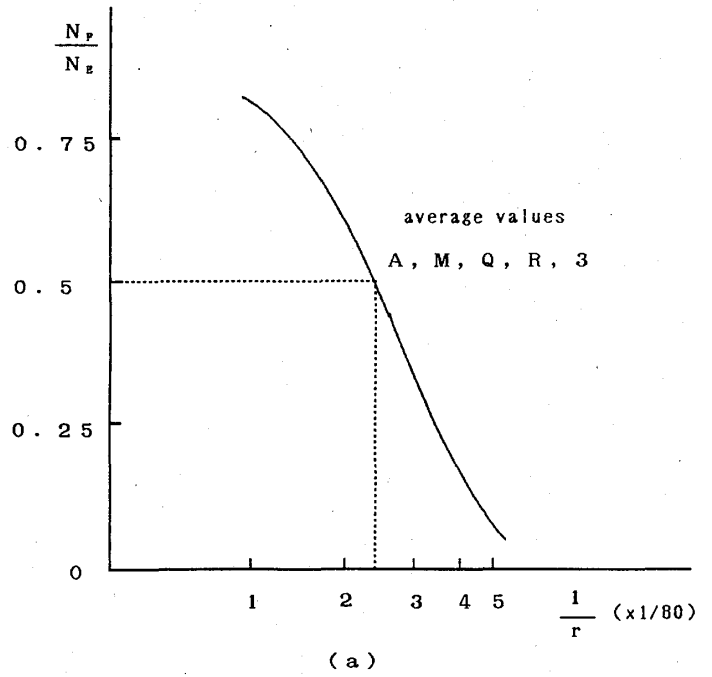
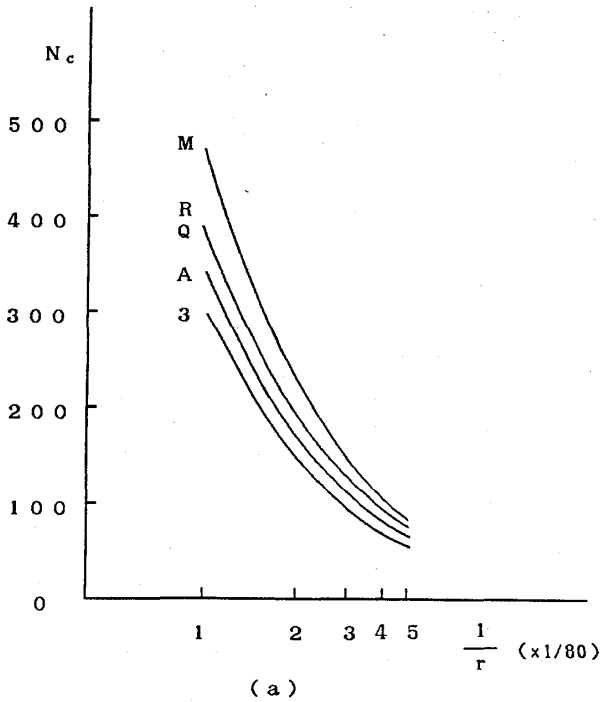


Fig.10 Sampling characteristics of characters (part 2).

Fig.11 Evaluation for appearance of sampling characters.

N_E の値をプロットすると、図9、10を得る。いずれの曲線も $1/r$ が大になると N_C あるいは N_E の値は減少する傾向を示すが、文字によって N_C および N_E の値は相当異なっている。図9の N_E の値は英数字と漢字とでそれほど差異が認められないが、図10の N_C では漢字が英数字のほぼ2倍程度の大きさとなっている。次に、文字の N_F/N_E なる量を考えると、これは文字の太さあるいは肉付きの良さを表す尺度となる。図9、10のデータから N_F/N_E を計算すると、英数字と漢字のグループでほぼ平均値に近い値をとることが分かる。

図11(a)は英数字の平均値について、 N_F/N_E 対 $1/r$ の特性をプロットしたものであり、図(b)は漢字に対するものである。 N_F/N_E の値が大きい文字は、その文字の構造の細部まで表現できるのに対し、 N_F/N_E の値が小さくなると構造の細部が崩れることになる。標本化文字でその細部まで忠実に視認できるためには、 N_F/N_E の値が1つの評価基準になると考えられる。図11において、 $N_F/N_E=0.5$ となる $1/r$ を求めると、英数字では $2.3/80$ 、また漢字では $1.3/80$ となる。これらの $1/r$ に相当する文字図形は、英数字では図4の第2列と第3列の間のものであり、また漢字については図5の第1列と第2列の間のものである。この結果は感覚的にも妥当なものであり、したがって $N_F/N_E=0.5$ をもって文字の見え方の評価基準とすることを提案する。

6. むすび

本研究で得られた成果を要約すると、Helmholtzの視細胞モデルに基づいて求めた視細胞の大きさをもとにして、網膜上に結像した英数字と漢字指標を標本化し、その N_F/N_E 特性をしらべ、それが0.5となることを良好な見え方の基準とすることが適当であろうとの結論が得られた。本研究の結果は良好な見え方をとする文字の大きさ、字形、観測距離、照度の決定等に利用できるものと思われる。

【参考文献】

- 1) 和田陽平、大山正、今井省吾編：“感覚・知覚心理学ハンドブック” 誠信書房、p.250 (昭和47)
- 2) P. Moon and D. E. Spencer：“Visual data applied to lighting design”, J. Opt. Soc. Am., Vol.34, No.10, p.605 (1944)
- 3) 中根芳一：“印刷文字の見易さ及び適正照度に関する研究”、日本建築学会論文報告集、No.229, p.111 (昭和50)