

## 両眼視用拡大鏡 SHINBI の倍率

田邊 正明

日本ライトハウス養成部

日 本 ロ ー ビ ジ ョ ン 学 会 誌

Journal of Japanese Society for Low-vision Research and Rehabilitation

## 両眼視用拡大鏡 SHINBI の倍率

田邊 正明

日本ライトハウス養成部

## Magnification of the Binocular Magnifier "SHINBI"

Tadaaki Tanabe

Welfare Center for the Blind, Nippon Lighthouse

目的：SHINBI は高さの調節が可能なスタンドと両眼視を可能にする大きなレンズで構成された卓上式拡大鏡である。屈折力は+1.25D、表示倍率は1.8倍であるが、どのような倍率表記法を用いているのかを検証する。

方法：まず名目倍率、商用倍率を求め、次に物体と眼間距離を40cmとしたときの横倍率、等価読書屈折力、角倍率を求め、更に1.8倍を得る条件を導出した。

結果：名目倍率は0.315倍、商用倍率は1.315倍であった。横倍率は2倍、等価読書屈折力は2.86D、角倍率は1.14倍が最大値となった。1.8倍となる条件は、横倍率ではレンズと物体間距離が35cm、等価読書屈折力/4ではレンズと物体間距離が13.9cm、レンズと眼間距離が0cm、調節力は5.95D、角倍率ではレンズと物体間距離が71cm、レンズと眼間距離が71cmであった。

結論：製造業者によると、表示倍率はレンズと物体間距離が35cmのときの横倍率であった。他の拡大鏡と比較するには商用倍率を用いればよい。

(日本ロービジョン学会誌 9:136-143, 2009)

キーワード：名目倍率、商用倍率、横倍率、等価読書屈折力、角倍率

Purpose : To investigate magnification with the SHINBI, a magnifier that consists of a large, round, simple lens and an adjustable stand. The dioptric power of the lens is +1.25D and the labeled magnification is 1.8X.

Methods : The nominal magnification and the trade magnification of the lens were calculated. With the distance between the object and the human eye set at 40cm, the lateral magnification, the equivalent viewing power (EVP), and the angular magnification were calculated. Also, the conditions under which magnification of 1.8X was achieved were investigated.

Results : The nominal magnification was 0.315X and the trade magnification was 1.315X. The maximum lateral magnification, the EVP, and the angular magnification were 2X, 2.86D and 1.14X, respectively. The following conditions were required to achieve 1.8X magnification: a distance of 35cm between the lens and the object for lateral magnification; a distance of 13.9cm between the lens and the object, a distance of 0cm between the lens and the eye, and accommodation of 5.95D for EVP/4; and a distance of 71cm between the lens and the object and between the lens and the eye for angular magnification.

Conclusions : The manufacturer-labeled magnification of 1.8X is accurate for lateral magnification when the distance between the lens and the object is 35cm. Using the trade magnification, SHINBI can be compared to other magnifiers.

(Jpn Soc Low-vision Research and Rehabilitation 9:136-143, 2009)

**Key Words : Nominal Magnification, Trade Magnification, Lateral Magnification, Equivalent Viewing Power, Angular Magnification**

## 緒 言

レンズの倍率をあらわすには様々な名称と定義がある。日本における工業製品の規格を定めた日本工業企画 (JIS)

ハンドブックの光学用語には倍率 (magnification)、縦倍率 (longitudinal magnification)、角倍率 (angular magnification) が記載されていて、定義は次のようになっている<sup>1)</sup>。「倍率：光学系によって生じる像の大きさと、物体の大きさととの比。これを横倍率といい、ほかに縦倍率および角倍率が

別刷請求先：538-0042 大阪市鶴見区今津中2-4-37 日本ライトハウス養成部 田邊正明  
Reprint requests to: Tadaaki Tanabe Welfare Center for the Blind, Nippon Lighthouse  
2-4-37 Imazu-naka, Tsurumi-ku, Osaka 538-0042, Japan

ある。縦倍率：光軸上における小線分の像  $\Delta z'$  と、それに共役な物体の小線分  $\Delta z$  との比  $\frac{\Delta z'}{\Delta z}$ 。角倍率：光軸上の像点を通る光線が、光軸となす小さい角  $\Delta \theta'$  と、物点を通るそれに共役な光線が光軸となす小さい角  $\Delta \theta$  との比  $\frac{\Delta \theta'}{\Delta \theta}$ 」。

また、望遠鏡用語には倍率 (magnification) は次のように定義されている<sup>2)</sup>。「倍率：望遠鏡系から見た近軸物体の像の角度 ( $w'$ ) の、裸眼で見た同じ物体の角度 ( $w$ ) に対する比率。倍率 ( $\Gamma$ ) は次の式による。  $\Gamma = \frac{\tan w'}{\tan w} = \frac{w'}{w}$  また

は  $\Gamma = \frac{D}{D'}$ 。標準倍率：射出ひとみ径が観測者の眼のひとみ径に等しい場合の、望遠鏡の倍率」。

更に、顕微鏡の倍率には接眼レンズの倍率として次のように記載されている<sup>3)</sup>。

「 $M_E = \frac{250}{f_E}$  ( $M_E$ : 接眼レンズの観察倍率,  $f_E$ : 接眼レンズの焦点距離 (mm), 250: 明視距離 (mm))」

ところが、ロービジョン者が使用する拡大鏡の倍率についての記載は JIS ハンドブックにはみられない。そこで鶴田による倍率の解説をみると次のように記されている<sup>4)</sup>。「ルーペの倍率をあらわすのに二つの流儀があることは広く知られています。一つは名目倍率 (nominal magnification) M です。これまで基準拡大率とか基準倍率と呼ばれてきたもので次式で与えられます。  $M = \frac{0.25}{f} = \frac{F}{4}$  (f: 焦点距離

(m), F: 屈折力)。—中略— もう一つの倍率は国際標準化機構 (ISO) によって商用倍率 (trade magnification) と名付けられたもので次式で与えられます。  $M_{trade} = M + 1$ 」。

ここに nominal magnification が名目倍率、trade magnification が商用倍率と訳出されたのであるが、  $\frac{F}{4}, \frac{F}{4} + 1$  を

あらわす英語表現には多様なものが存在する。Brown<sup>5)</sup> はそれぞれ nominal magnification, trade magnification, Mehr<sup>6)</sup> はそれぞれ effective magnification, conventional magnification, Woo<sup>7)</sup> はそれぞれ trade magnification, iso-accommodative magnification, Bailey<sup>8)</sup> はそれぞれ relative magnification, rated magnification と記している。本稿では  $\frac{F}{4}$  をあらわす日本語表記に従来より用いられている基準

拡大率を使用すると、  $\frac{F}{4} + 1$  を意味する適当な用語がないため、鶴田による nominal magnification と trade magnification の訳出である名目倍率および商用倍率という用語を用いた。それぞれの公式が成立するには、どちらも参照距離は25cmで、  $\frac{F}{4}$  は物体をレンズの焦点上に置き無限

遠に虚像を生じさせて眼の調節力を使用しないことを、

$\frac{F}{4} + 1$  は物体をレンズの焦点よりもレンズ寄りに置き虚像を参照距離と同じ25cmに生じさせてレンズと眼間距離を0cmにし、調節力を+4D使用することを前提にしている。

更に、拡大鏡の倍率としての表現ではなく、眼の調節力 (あるいは加入度) を考慮した屈折力で拡大をあらわす方法として使用されているものに等価読書屈折力 (equivalent viewing power 以下 EVP) がある。厚いレンズを薄い一枚レンズの屈折力であらわしたものを equivalent power (EP)、日本語で等価屈折力というが、同様にして二枚レンズの合成屈折力の公式を用いて拡大鏡と調節力 (または加入度) の合成屈折力を求めたものが EVP である。つまり、EVP を  $F_e(D)$ 、レンズの屈折力を  $F_m(D)$ 、調節力 (または加入度) を  $F_a(D)$ 、レンズと眼間距離を  $d(m)$  とすると、  $F_e = F_m + F_a - d \times F_m \times F_a$  で求められる<sup>9)</sup>。この公式はレンズの横倍率 ( $M_T$ ) と調節力 (または加入度) ( $F_a$ ) で  $F_e$  をあらわすと、  $F_e = M_T \times F_a$  に変形される<sup>5)</sup>。また EVP に関しては、それと同じ定義で Mattingly<sup>10)</sup> が combined reading power (以下 CRP) という用語を用いている。EVP の日本語による呼称は定着していないため、EVP と CRP の二つの英単語の意味をあわせて本稿では EVP を等価読書屈折力と訳出した。

以上のように、レンズの倍率をあらわす統一された簡便な方法はなく、製造業者、販売会社、利用者によって理解の方法、使用方法はまちまちであり、誤解を生む原因となっている。

今回調査した SHINBI は韓国の Neon 社製の拡大鏡で、日本ではタイムズコーポレーション社から販売されている。製造業者による表示倍率は1.8倍であるが、他の1.8倍と表示されている拡大鏡と比べてどうも大きく見えないとの問い合わせが寄せられたため、どのような根拠で1.8倍が表示されているのかを調査したので報告する。

## 対象および方法

SHINBI はレンズと物体間距離、レンズと眼間距離、レンズの方向を自由に調節できるアームが付属している拡大鏡で、レンズ径は縦12cm、横18cmであり、両眼視可能な大きさである<sup>11)</sup>。屈折力はレンズメジャーで計測するとカーブの値は1.125となり、材質はポリカーボネイト (polycarbonate) で屈折率は1.59であることから、屈折力を計算すると1.276Dとなった。本稿では近似値として屈折力を1.25Dとした。

表示倍率は1.8倍となっているが、名目倍率と商用倍率を求めて表示倍率と比較し、そして参照距離に関係のない横倍率、EVP、角倍率を用いてレンズと物体間距離の変化による倍率と屈折力の変化を求めることにより、表示倍率との関係を考察することにした。



図1 SHINBIを使用している様子

横倍率, EVP, 角倍率の考察は二つの方法で行った。最初に, 最も典型的な使用法として図1のように机の上にSHINBIを置き新聞を見ている状態を考え, 物体である新聞と眼間距離を Sloan らによって参照距離として推奨されている 40cm<sup>8)</sup>と仮定した。つまり, 机に向きあう姿勢は拡大鏡なしで普段新聞を見ていた状態のままと仮定し, 眼と物体を動かさず, アームを曲げてレンズと物体間距離を変化させた。そのときの, 1. 物体の大きさと虚像の大きさの比である横倍率, 2. 調節力を利用した EVP, 3. 物体による視角と虚像による視角の比であらわした見かけの倍率となる角倍率の変化をあらわす式を導き, それぞれの倍率の最大値を求めた。二番目に, レンズと物体間距離を変化させ, 表示倍率である1.8倍となるための横倍率, 参照距離を25cm としたときの EVP/4 による倍率, 角倍率の条件を導出した。

物体, 虚像, 拡大鏡, 眼との位置関係を示した光路図は図2に示したとおりである。慣習に従い, 入射光線は図の左から右へ進み, 距離はレンズから測ることとし, 符号はそれが入射光線と同じ方向であれば正, 反対方向であれば負とした<sup>12)</sup>。

結 果

SHINBI の屈折力は+1.25D なので, 名目倍率は 1.25/4=0.315 (倍), 商用倍率は 1.25/4+1=1.315 (倍) となった。

また横倍率, EVP, 角倍率を用いて拡大を考察した結果は以下ようになった。

1. 物体と眼間距離が 40cm のときのレンズと物体間距離と横倍率, EVP, 角倍率の関係

1) 横倍率は物体と虚像の大きさの比であるが, レンズ

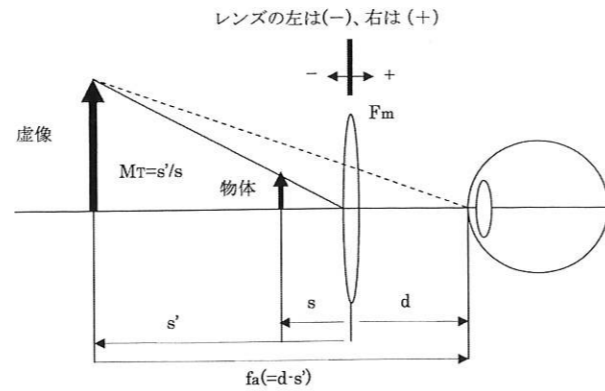


図2 レンズと物体, 虚像, 眼の関係  
s: 物体とレンズ間距離 (-), s': レンズと虚像間距離 (-), fa: 調節距離 (+), d: レンズと眼間距離 (+), Fm: 屈折力, Mt: 横倍率  
慣習に従い, 入射光線は図の左から右へ進み, 距離はレンズから測ることとし, 符号はそれが入射光線と同じ方向であれば正, 反対方向であれば負とした。

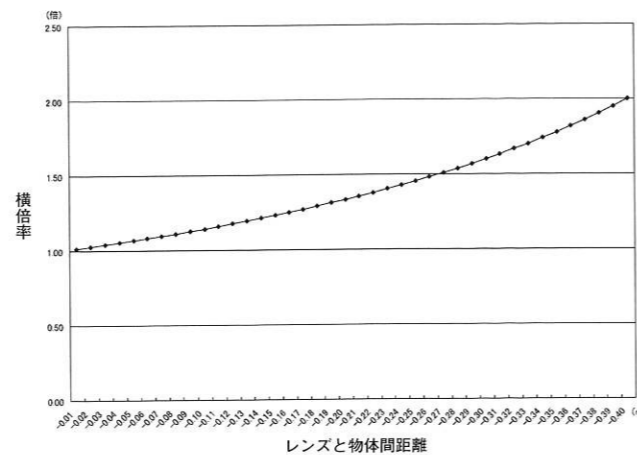


図3 レンズと物体間距離を変化させたときの横倍率  
レンズと物体間距離が負数になっているのは, レンズの左側に物体を置いているとしているためである。

と物体間距離, レンズと虚像間距離の比でもある。そこで次のようにして求めた。

(F: 屈折力, Mt: 横倍率, s: レンズと物体間距離, s': レンズと虚像間距離。s と s' の関係はレンズの結像公式

$$\frac{1}{s} + F = \frac{1}{s'} \text{ (を用いた<sup>13)</sup>)}$$

$$\frac{1}{s} + F = \frac{1}{s'} \Rightarrow s' = \frac{1}{1+sF}$$

$$M_T = \frac{s'}{s} = \frac{s}{(1+sF)s} = \frac{1}{1+sF} \text{ .....(1)}$$

s と Mt の関係は図3のようになった。

レンズと物体間距離が大きくなるに従って横倍率は大きくなり, 最高値は2倍であった。

2) EVP は調節力と横倍率の積である<sup>5)</sup>。そこで次のようにして求めた。

(d: レンズと眼間距離, fa: 調節距離, Fa: 調節力, Fe: EVP, Mt: 横倍率, s: レンズと物体間距離, S: 物体のヴァージェンス, s': レンズと虚像間距離, S': 虚像のヴァージェンス。物体, 虚像のヴァージェンスとは, それぞれレンズから物体, 虚像までの距離 (m) の逆数をいい, 単位は D (ディオプトリ) であらわしたものである<sup>13)</sup>)

$$\frac{1}{s} + F = \frac{1}{s'} \Rightarrow s = \frac{s'}{1-s'F}$$

$$M_T = \frac{s'}{s} = \frac{s'}{\frac{s'}{1-s'F}} = 1-s'F \text{ .....(2)}$$

$$f_a = -s'+d$$

$$F_a = \frac{1}{f_a} = \frac{1}{-s'+d} \text{ .....(3)}$$

Fe = Fa × Mt に (2)(3) を代入すると,

$$F_e = \frac{1-s'F}{-s'+d}$$

$$s' = \frac{1}{S'} \text{ より}$$

$$F_e = \frac{1 - \frac{F}{S'}}{-\frac{1}{S'} + d}$$

$$S' = S + F \text{ より}$$

$$F_e = \frac{1 - \frac{F}{S+F}}{-\frac{1}{S+F} + d} = \frac{S}{-1+d(S+F)} \text{ .....(4)}$$

物体と眼間距離を 40cm とするので

$$d - s = 0.4$$

$$d = s + 0.4 = \frac{1}{S} + 0.4$$

$$\therefore F_e = \frac{S}{-1 + \left(\frac{1}{S} + 0.4\right)(S+F)} = \frac{S^2}{F + 0.4S^2 + 0.4SF}$$

$$S = \frac{1}{s} \text{ より}$$

$$F_e = \frac{1}{Fs^2 + 0.4sF + 0.4}$$

F = +1.25 を代入すると

$$F_e = \frac{1}{1.25s^2 + 0.5s + 0.4}$$

s と Fe の関係は図4のようになった。

レンズと物体間距離が物体と眼間距離の中間値で EVP は最高になり, 最高値は 2.86D であった。

3) 角倍率は物体による視角と虚像による視角の比であ

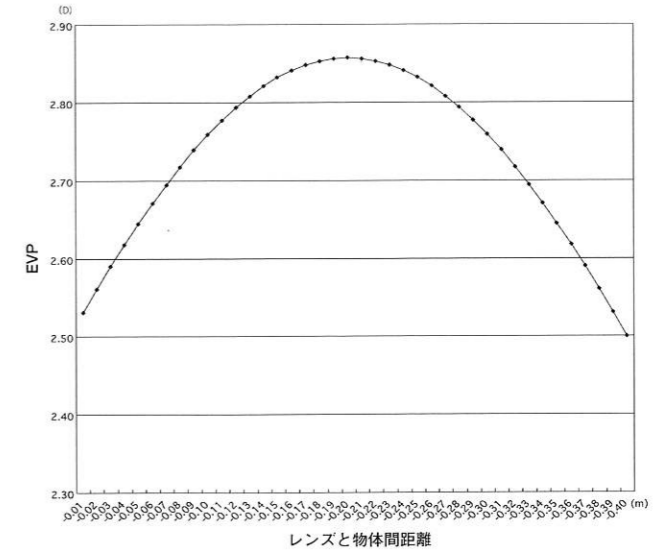


図4 物体と眼間距離を40cmに固定し, レンズと物体間距離を変化させたときの equivalent viewing power (EVP)

るから, 物体と眼間距離を参照距離と考えて EVP による名目倍率を考えればよい。つまり, 物体と眼間距離と EVP の積を求めれば角倍率が求められる。そこで次のようにして求めた。

(d: レンズと眼間距離, F: 屈折力, MA: 角倍率, s: レンズと物体間距離, S: 物体のヴァージェンス)

物体と眼間距離 = d - s = d - 1/S = (dS - 1)/S と式 (4) から

$$M_A = \frac{dS-1}{S} \times \frac{S}{-1+d(S+F)} = \frac{1-dS}{1-d(S+F)} \text{ .....(5)}$$

$$d = \frac{1}{S} + 0.4 \text{ より}$$

$$M_A = \frac{0.4S^2}{F + 0.4S^2 + 0.4SF}$$

$$S = \frac{1}{s} \text{ より}$$

$$M_A = \frac{0.4}{Fs^2 + 0.4sF + 0.4}$$

F = +1.25 とすると

$$M_A = \frac{0.4}{1.25s^2 + 0.5s + 0.4}$$

s と MA の関係は図5のようになった。

レンズと物体間距離が物体と眼間距離の中間値で角倍率は最高になり, 最高値は1.14倍であった。

4) レンズと物体間距離, 横倍率, EVP, 角倍率, 調節力の値は表1のようになった。

2. 横倍率, EVP/4, 角倍率が1.8倍となるための条件

1) 横倍率が1.8倍となる条件

式 (1) に Mt = 1.8, F = +1.25 を代入すると次のように

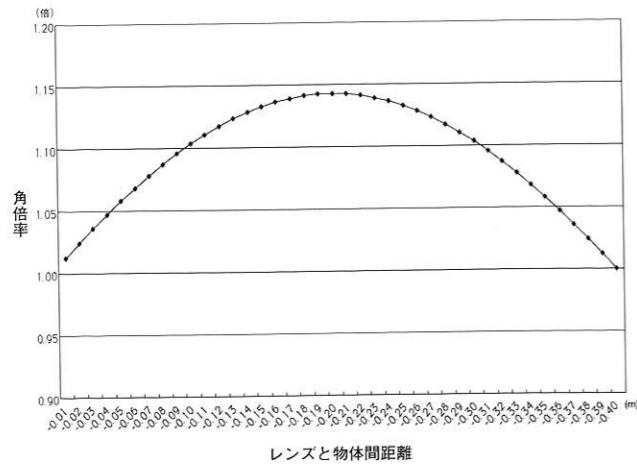


図5 物体と眼間距離を40cmに固定し、レンズと物体間距離を変化させたときの角倍率

表1 物体と眼間距離を40cmに固定したときのレンズと物体間距離、横倍率、equivalent viewing power (EVP)、角倍率、調節力の関係

レンズと物体間距離(m)	横倍率(倍)	EVP(D)	角倍率(倍)	調節力(D)
-0.01	1.01	2.53	1.01	2.50
-0.02	1.03	2.56	1.02	2.50
-0.03	1.04	2.59	1.04	2.49
-0.04	1.05	2.62	1.05	2.49
-0.05	1.07	2.64	1.06	2.48
-0.06	1.08	2.67	1.07	2.47
-0.07	1.10	2.69	1.08	2.46
-0.08	1.11	2.72	1.09	2.45
-0.09	1.13	2.74	1.10	2.43
-0.1	1.14	2.76	1.10	2.41
-0.11	1.16	2.78	1.11	2.40
-0.12	1.18	2.79	1.12	2.37
-0.13	1.19	2.81	1.12	2.35
-0.14	1.21	2.82	1.13	2.33
-0.15	1.23	2.83	1.13	2.30
-0.16	1.25	2.84	1.14	2.27
-0.17	1.27	2.85	1.14	2.24
-0.18	1.29	2.85	1.14	2.21
-0.19	1.31	2.86	1.14	2.18
-0.2	1.33	2.86	1.14	2.14
-0.21	1.36	2.86	1.14	2.11
-0.22	1.38	2.85	1.14	2.07
-0.23	1.40	2.85	1.14	2.03
-0.24	1.43	2.84	1.14	1.99
-0.25	1.45	2.83	1.13	1.95
-0.26	1.48	2.82	1.13	1.90
-0.27	1.51	2.81	1.12	1.86
-0.28	1.54	2.79	1.12	1.82
-0.29	1.57	2.78	1.11	1.77
-0.3	1.60	2.76	1.10	1.72
-0.31	1.63	2.74	1.10	1.68
-0.32	1.67	2.72	1.09	1.63
-0.33	1.70	2.69	1.08	1.58
-0.34	1.74	2.67	1.07	1.54
-0.35	1.78	2.64	1.06	1.49
-0.36	1.82	2.62	1.05	1.44
-0.37	1.86	2.59	1.04	1.39
-0.38	1.90	2.56	1.02	1.34
-0.39	1.95	2.53	1.01	1.30
-0.4	2.00	2.50	1.00	1.25

距離の符号：距離はレンズから計測したときに、入射光線と同じ方向であれば正数、反対方向であれば負数となっている

なった。

$$1.8 = \frac{1}{1+1.25s}$$

$$s = -0.356$$

レンズと物体間距離は約35cmであった。

2) EVP/4が1.8倍となる条件

まず、調節力、レンズと眼間距離を求める一般式を求めた。

(d: レンズと眼間距離, f<sub>a</sub>: 調節距離, F<sub>a</sub>: 調節力, F<sub>e</sub>: EVP, M<sub>T</sub>: 横倍率, s': レンズと虚像間距離)

$$F_e = F_a \times M_T \text{ に式 (1) (2) より } M_T = \frac{1}{1+s'F}, M_T = 1-s'F$$

を代入すると

$$F_e = \frac{F_a}{1+s'F} \Rightarrow F_a = F_e (1+s'F) \dots\dots\dots (6)$$

$$F_e = F_a (1-s'F) \Rightarrow F_a = \frac{F_e}{1-s'F}$$

$$F_a = \frac{1}{f_a} \text{ だから}$$

$$f_a = \frac{1-s'F}{F_e} \dots\dots\dots (7)$$

d = f<sub>a</sub> + s' なので (7) を代入すると

$$d = f_a + s' = \frac{1-s'F}{F_e} + s' = \frac{1+s'(F_e-F)}{F_e}$$

$$\text{また, } M_T = 1-s'F \Rightarrow s' = \frac{1-M_T}{F}$$

よって、

$$d = \frac{1 + \frac{(1-M_T)(F_e-F)}{F}}{F_e} = \left( \frac{1}{F_e} - \frac{1}{F} \right) M_T + \frac{1}{F} \dots\dots (8)$$

表2 EVPが7.2D(倍率が1.8倍)となるための条件

レンズと物体間距離(m)	レンズと眼間距離(m)	横倍率(倍)	調節力(D)
0.000	0.139	1.00	7.20
-0.010	0.131	1.01	7.11
-0.020	0.122	1.03	7.02
-0.029	0.114	1.04	6.94
-0.038	0.106	1.05	6.86
-0.047	0.098	1.06	6.78
-0.056	0.089	1.08	6.70
-0.064	0.081	1.09	6.62
-0.073	0.073	1.10	6.55
-0.081	0.065	1.11	6.47
-0.089	0.056	1.13	6.40
-0.097	0.048	1.14	6.33
-0.104	0.040	1.15	6.26
-0.112	0.031	1.16	6.19
-0.119	0.023	1.18	6.13
-0.126	0.015	1.19	6.06
-0.133	0.007	1.20	6.00
-0.139	0.000	1.21	5.95

距離の符号：距離はレンズから計測したときに、入射光線と同じ方向であれば正数、反対方向であれば負数となっている

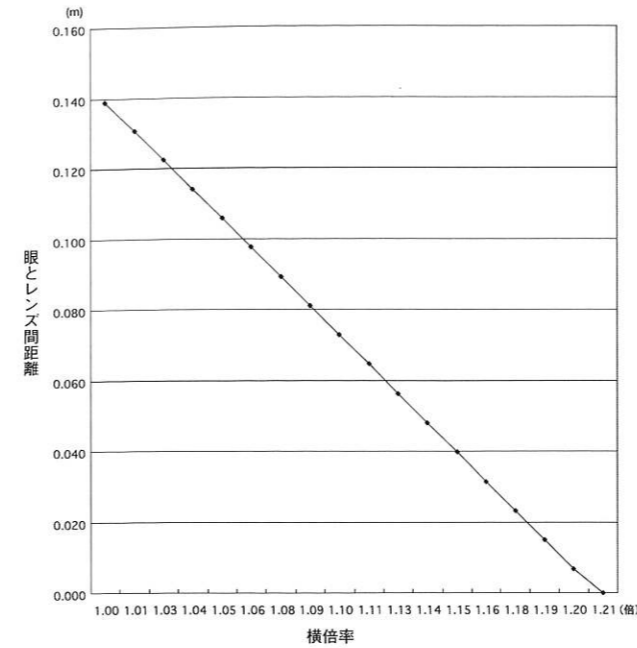


図6 EVP=7.2Dに固定し、横倍率を変化させたときのレンズと眼間距離

表3 角倍率が1.8倍となる条件

レンズと物体間距離(m)	レンズと眼間距離(m)
-∞	0.35
-1.00	0.55
-0.71	0.71
-0.67	0.76
-0.50	1.23
-0.40	3.20
-0.35	+∞

距離の符号：距離はレンズから計測したときに、入射光線と同じ方向であれば正数、反対方向であれば負数となっている

ここで、参照距離を25cmとしたときにEVP/4が1.8倍になるためのEVP(F<sub>e</sub>)は

$$F_e = 1.8 \times 4 = 7.2$$

なので、式(1)にレンズと物体間距離を入力して求めた横倍率(M<sub>T</sub>)、F=+1.25、F<sub>e</sub>=+7.2を式(6)(8)に代入し、レンズと物体間距離、レンズと眼間距離、横倍率、調節力の値を求めると表2のようになった。また、レンズと眼間距離と横倍率の関係をグラフにすると図6のようになった。

つまり、EVPを利用して1.8倍となるための条件は一定ではなく、調節力が最小となるのはレンズと物体間距離13.9cm、レンズと眼間距離0cm、横倍率1.21倍、調節力+5.95Dの場合であった。

3) 角倍率が1.8倍となるための条件

式(5)にM<sub>A</sub>=1.8、F=+1.25を代入すると次のようになった。

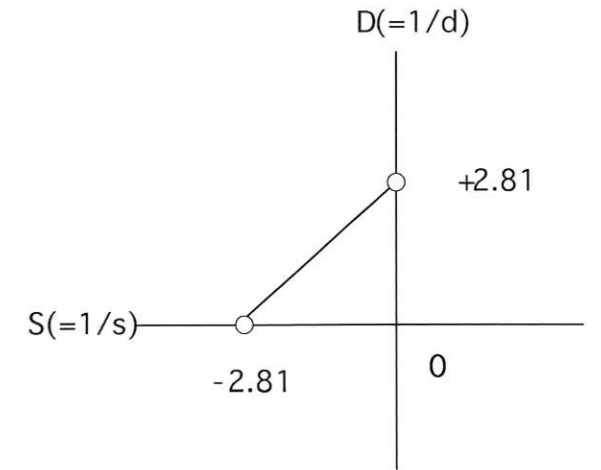


図7 角倍率を1.8倍に固定し、レンズと物体間距離の逆数を変化させたときの、レンズと眼間距離の逆数

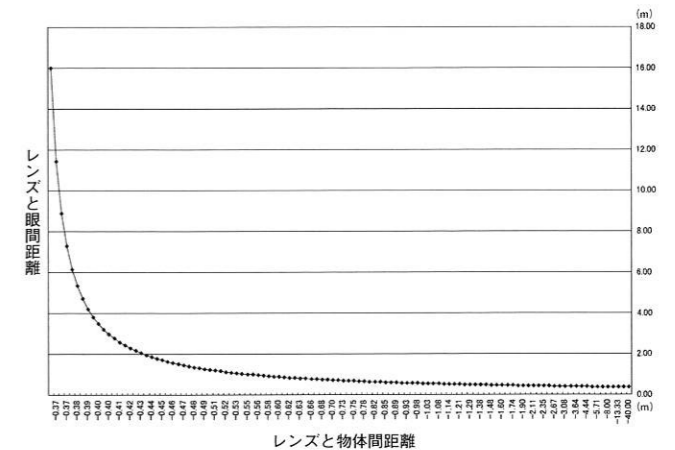


図8 角倍率を1.8倍に固定し、レンズと物体間距離を変化させたときのレンズと眼間距離

$$1.8 = \frac{1-dS}{1-d(S+1.25)} \Rightarrow S = \frac{1}{d} - 2.81$$

$$\frac{1}{d} = D \text{ とすると}$$

$$D = S + 2.81 \quad (D > 0, S < 0)$$

上式をグラフにすると図7のようになった。

図7より、SとDの範囲は

$$-2.81 < S < 0, \quad 0 < D < 2.81$$

それぞれ距離に直すと、

$$S = \frac{1}{s} \text{ より}$$

$$\frac{1}{s} > -2.81$$

$$s < 0 \text{ だから } 1 < -2.81s$$

$$s < -0.356$$

$$D = \frac{1}{d} \text{ より}$$



$$\frac{1}{d} < 2.81$$

$$d > 0 \text{ だから } 1 < 2.81d \\ d > 0.356$$

上式を利用し、レンズと物体間距離、レンズと眼間距離の値を求めると表3のようになり、グラフにすると図8のようになった。つまり、極限の状態としてはレンズと物体間距離が無限遠でレンズと眼間距離が35cm、もしくはレンズと物体間距離が35cmでレンズと眼間距離が無限遠のときに角倍率は1.8倍となった。しかし、現実的に物体もしくは眼に関してはレンズから極端に離れて使用することはないので、実際に使用できる状態はレンズと物体間距離、レンズと眼間距離双方ともできるだけ短くする必要がある。表3からそれぞれの距離が一番短くなる71cmがかりうじて実際に使える距離であった。

## 考 察

SHINBIの名目倍率は0.315倍、商用倍率は1.315倍となったので、表示倍率の1.8倍は名目倍率でも商用倍率でもなかった。一般的にロービジョン用の拡大鏡は+4D以上の屈折力がある<sup>9)</sup>ので名目倍率の使用条件を満たすことができるが、SHINBIにおいては、拡大鏡としては屈折力が+1.25Dと低く作られており、名目倍率を求める条件である焦点上に物体を置くにはレンズから $1/1.25=0.8\text{m}$ の距離に物体を置かなくてはならず、事実上その条件を満たすことは不可能である。また+4D以下の拡大鏡に関しては名目倍率であらわすと1以下になり、大きく見えるという感覚からずれてしまうこと<sup>9)</sup>から、製造業者は名目倍率で表示しないと考えられた。

レンズと物体間距離(s)が変化すると、レンズと虚像間距離(s')の変化により横倍率(s'/s)は一定ではなくなる。更にレンズと眼間距離の変化も加わって調節力が変化するので、調節力と横倍率の積であらわされるEVPは一定にならず拡大の様子は変化する。ゆえにSHINBIはレンズの位

置を自由に変化させられるため拡大の様子は常に変化していることがわかった。使用者は眼と物体間距離を40cmに固定すると仮定し、虚像が見えるようにレンズの位置を物体と眼の間で調整すると、レンズを物体側から持ち上げるに従って横倍率は図3のグラフのように増加し、レンズと物体間距離40cmで最大値の2倍となった。EVPは図4のグラフのように変化し、物体と眼の中間地点で最高の+2.86Dとなり、再び低下していくことがわかった。つまり、像が一番大きく見ることができるレンズの位置は、見かけの拡大をあらわした角倍率の変化を図5のグラフでみると、物体と眼間距離の中間であるレンズと物体間距離20cmのところで角倍率の値は表1より1.14倍であり、+2.14Dの調節力が必要であった。そのときの像の様子は図9の写真のようになり、紙面上の0の基準線から20mmに引かれた実

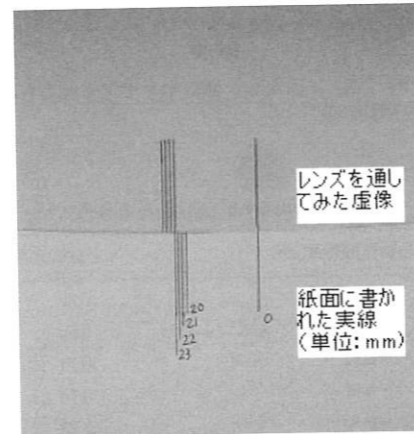


図9 レンズと物体間距離20cm、レンズと眼間距離20cmのときの拡大の様子  
下半分は紙面上に0の基準線から20mm、21mm、22mm、23mmに縦方向の実線を引いた状態である。上半分はレンズを通して紙面を見ている状態であり、紙面上の0の基準線がレンズを通して見える虚像の線と一致するようにレンズを設置した。紙面上の0の基準線から20mmに引かれた実線がレンズによる拡大によって左に移動し、紙面上の23mmの実線に重なって見えているので、1.15倍の見かけ上の拡大になっていることがわかる。

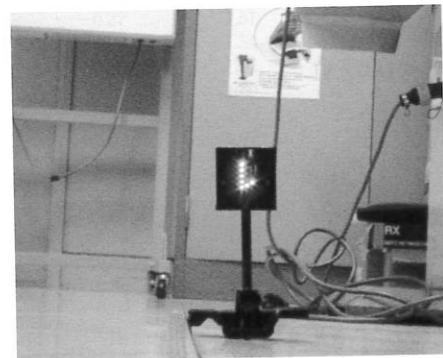


図10 実物から142cmで見たときの大きさ

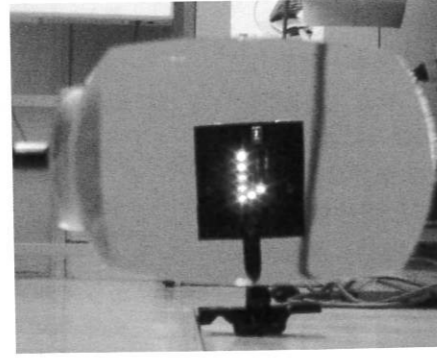


図11 実物から71cmにレンズを置いたときに見える虚像

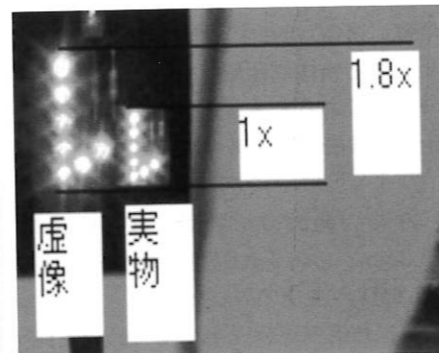


図12 実物と虚像の見かけの大きさの比較(角倍率)

線がレンズによる拡大によって左に移動し、紙面上の23mmの実線に重なって見えているので、1.15倍の見かけ上の拡大になっており、計算結果とほぼ等しいことが確認できた。

次に、1.8倍になるための条件は横倍率ではレンズと物体間距離が35cmであり、また角倍率ではレンズと物体間距離が35cmのときにはレンズと眼間距離を無限遠にする必要があったので、1.8倍の横倍率を実感するにはできるだけレンズから眼を離して見なければならぬことがわかる。しかし、現実的に物体と眼がレンズから極端に離れて使用することはないので、1.8倍の横倍率を実感できない。そこで1.8倍の角倍率を観察できる距離を求めると、レンズと物体間距離、レンズと眼間距離双方ができるだけ短い71cmとなった。見え方を写真で観察すると、物体から142cmの距離から拡大鏡なしで実物を見た状態が図10、物体から71cmにレンズを置き図10と同じく物体から142cmの距離から虚像を見た状態が図11のようになり、写真に写った像の大きさの比を求めると、図12に示したようにおよそ1.8倍になっていることが確認できた。

更にEVP/4が1.8倍になるのはEVP=+7.2Dのときであるが、図6のグラフから横倍率を増加(レンズと物体間距離を長く)すればレンズと眼間距離は直線的に減少することがわかった。そのときには調節力が適切になるようにレンズ位置を調整する必要がある。調節力は表2からレンズと物体間距離0cm、レンズと眼間距離13.9cmのときの+7.20Dから、レンズと物体間距離13.9cm、レンズと眼間距離0cmのときの+5.95Dまで変化するが、最小の+5.95Dでも高齢者にとっては困難な数値であろう。

また、式(8)からEVPが拡大鏡の屈折力より大きくなるためにはレンズと眼間距離は焦点距離より短く、逆にEVPが拡大鏡の屈折力より小さくなるためにはレンズと眼間距離は焦点距離よりも長くなり、EVPが拡大鏡の屈折力と等しくなるためにはレンズと眼間距離は焦点距離と等しくなることがわかる。更に、式(6)から調節力はEVPがどのような値でも物体からレンズを遠ざけると減少していくことがわかる。

以上のことから横倍率、EVP/4、角倍率で1.8倍の数値を出す条件がわかったが、Neon社から表示倍率の基準を出したデータの提供を受けることができた結果、表示倍率の1.8倍はレンズと物体間距離を35cmにしたときの横倍率を採

用していることがわかった。

拡大鏡の倍率は基準となる定義が慣習的に決められているものの、実際に使用する際の物体、レンズ、眼の相互の位置関係によって見かけの像の拡大が異なるため、様々な表現方法が存在し<sup>7)</sup>、使用者にとってはわかりにくい単位である。しかも、購入者は様々な拡大鏡の倍率を比較するので混乱を招くことが多い。SHINBIにおいては店頭で顧客から倍率の説明を求められたときには、眼と物体間距離を40cmにしたときの角倍率の最大値である1.14倍で実際の見え方を体感してもらおうのがよいかもしれない。他社の拡大鏡と倍率で比較するには、他の多くの拡大鏡に表示されている商用倍率を用い、 $\frac{F}{4} + 1 = 1.3$ 倍と表現すればよいのではないだろうか。

## 文 献

- 1) 伊藤二良, 中野 功他: JISハンドブック24光学機器. 財団法人規格協会, 21, 東京, 2007.
- 2) 伊藤二良, 中野 功他: JISハンドブック24光学機器. 財団法人規格協会, 342, 東京, 2007.
- 3) 伊藤二良, 中野 功他: JISハンドブック24光学機器. 財団法人規格協会, 528, 東京, 2007.
- 4) 鶴田匡夫: 光の鉛筆 読書用ルーペ1 倍率と解像力. O plus E 新技術コミュニケーションズ 28: 510-511, 2006.
- 5) Brown WL & Siemsen DW: Magnification labels for stand magnifiers: Always misleading and usually unachievable. Optometry 79: 9-17, 2008.
- 6) Mehr EB & Freid AN: Low Vision Care. 51-52, Professional Press Books, New York, 1975.
- 7) Woo GC & Leung AM: The term magnification. Clin Exp Optom 84: 113-119, 2001.
- 8) Bailey IL: Magnification for near vision. Optometric Monthly February: 73-76, 1980.
- 9) Johnston AW: Understanding how simple magnifiers provide image enlargement. Clin Exp Optom 86: 403-408, 2003.
- 10) Mattingly WB: Advanced Low Vision Optics. Journal of Ophthalmic Nursing & Technology 13: 161-168, 1994.
- 11) 鶴田匡夫: 光の鉛筆 読書用ルーペ3 両眼視用ルーペ. O plus E 新技術コミュニケーションズ 28: 718-723, 2006.
- 12) Freeman MH & Hull CC: Optics. 65, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2003.
- 13) 築島謙次, 石田みさ子: ロービジョンケアマニュアル. 47-54, 南江堂, 東京, 2000.

(2008年12月15日受付)

---

発行所 日本眼科紀要会

567-0047 茨木市美穂ヶ丘 3-6 山本ビル 302号室 ☎ 072-623-7878

---