

両眼視用

拡大鏡 SHINBI の倍率

日本ライトハウス 養成部

田邊 正明

【目的】 SHINBI はレンズ径が大きく、レンズと物体間距離が変化する、両眼視可能な卓上式拡大鏡である。屈折力は+1.25D で、名目倍率は 0.315 倍、商用倍率は 1.315 倍となるが、メーカーによる表示倍率は 1.8 倍であり一致しない。そこで、横倍率、等価読書屈折力 (EVP)、角倍率を検証する。

【対象と方法】 SHINBI はアームが付属していて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ので、像の大きさが常に変化する卓上式拡大鏡である。屈折力は+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ことは不可能である。そこで最も典型的な使用方法として机（物体）と眼間距離を楽な姿勢で使える 40cm とし、レンズと物体間距離を変化させたとき、(1)物体の大きさと虚像の大きさの比である横倍率、(2)EVP、(3)物体による視角と虚像による視角の比で表した見かけの倍率となる角倍率を求めた。そして典型



的な置きかたとしてアームを机に平行に曲げたときのレンズと物体間距離からそれぞれの数値を求めた。また、レンズと物体間距離を変化させ、1.8倍となるための(1)横倍率、(2)参照距離を25cmとしたときのEVPによる倍率、(3)角倍率の条件を導出した。

【結果】

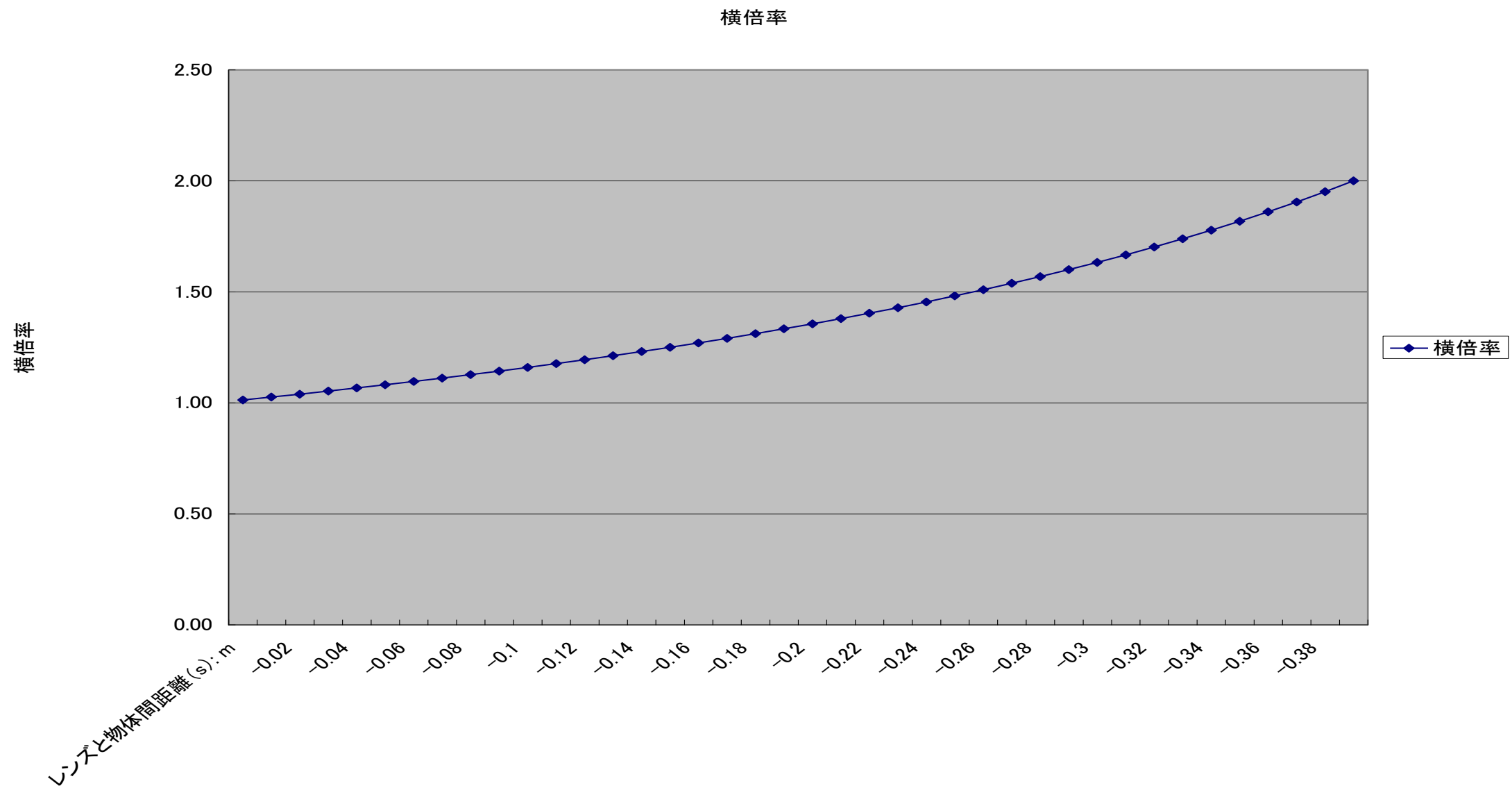
1. 物体と眼間距離が40cmのときの横倍率 (M_T)、EVP、角倍率(M_A)

(F:レンズの屈折力、s:レンズと物体間距離、s':レンズと虚像間距離)

1.1 横倍率 (M_T) : レンズと物体間距離、レンズと虚像間距離の比

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

レンズと物体間距離、横倍率の関係は次のグラフのようになった。

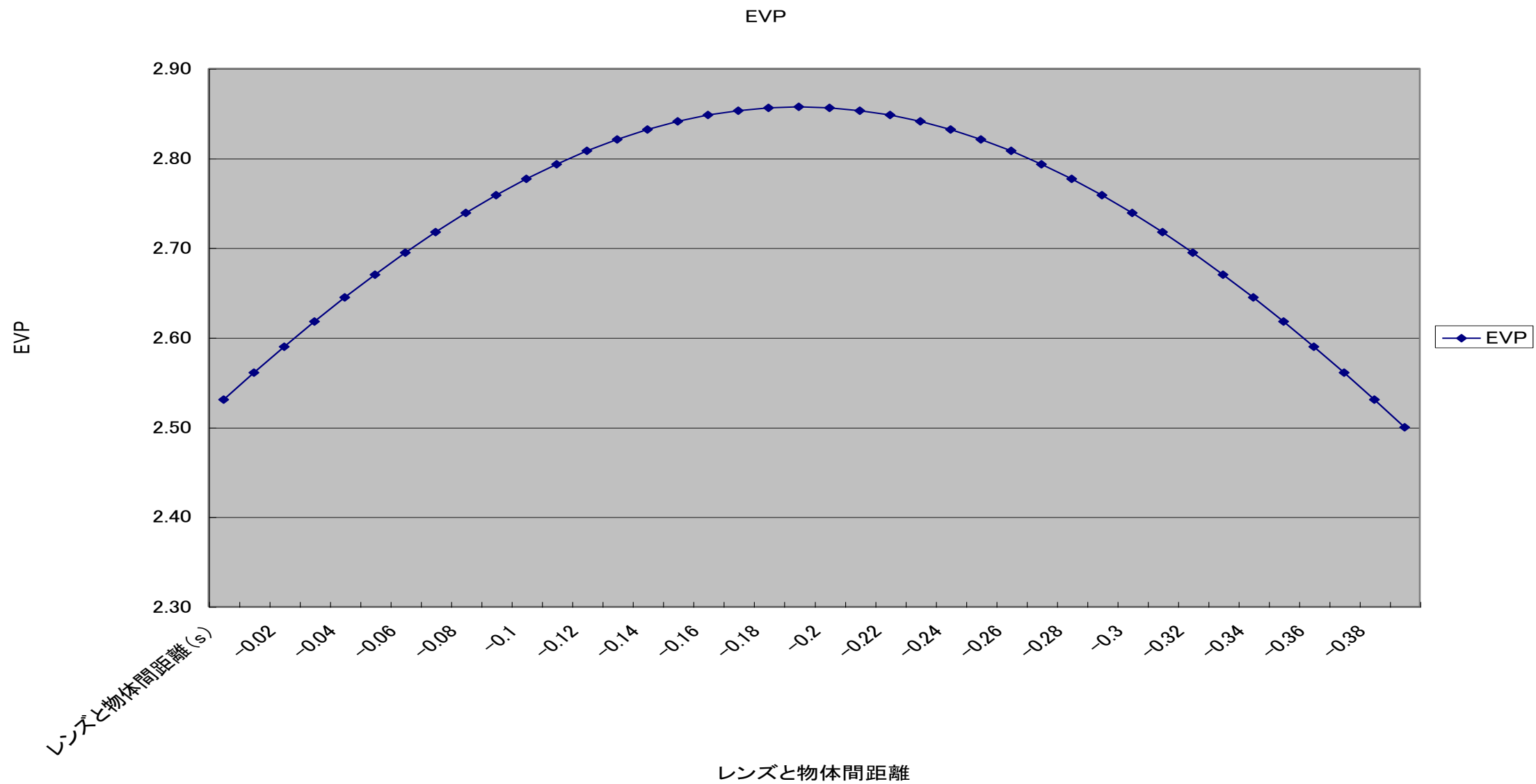


レンズと物体間距離が大きくなるに従って横倍率は大きくなり、最高値は2倍となった。

1.2 EVP : 横倍率、調節力の積

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

レンズと物体間距離、EVP の関係は次のグラフのようになった。

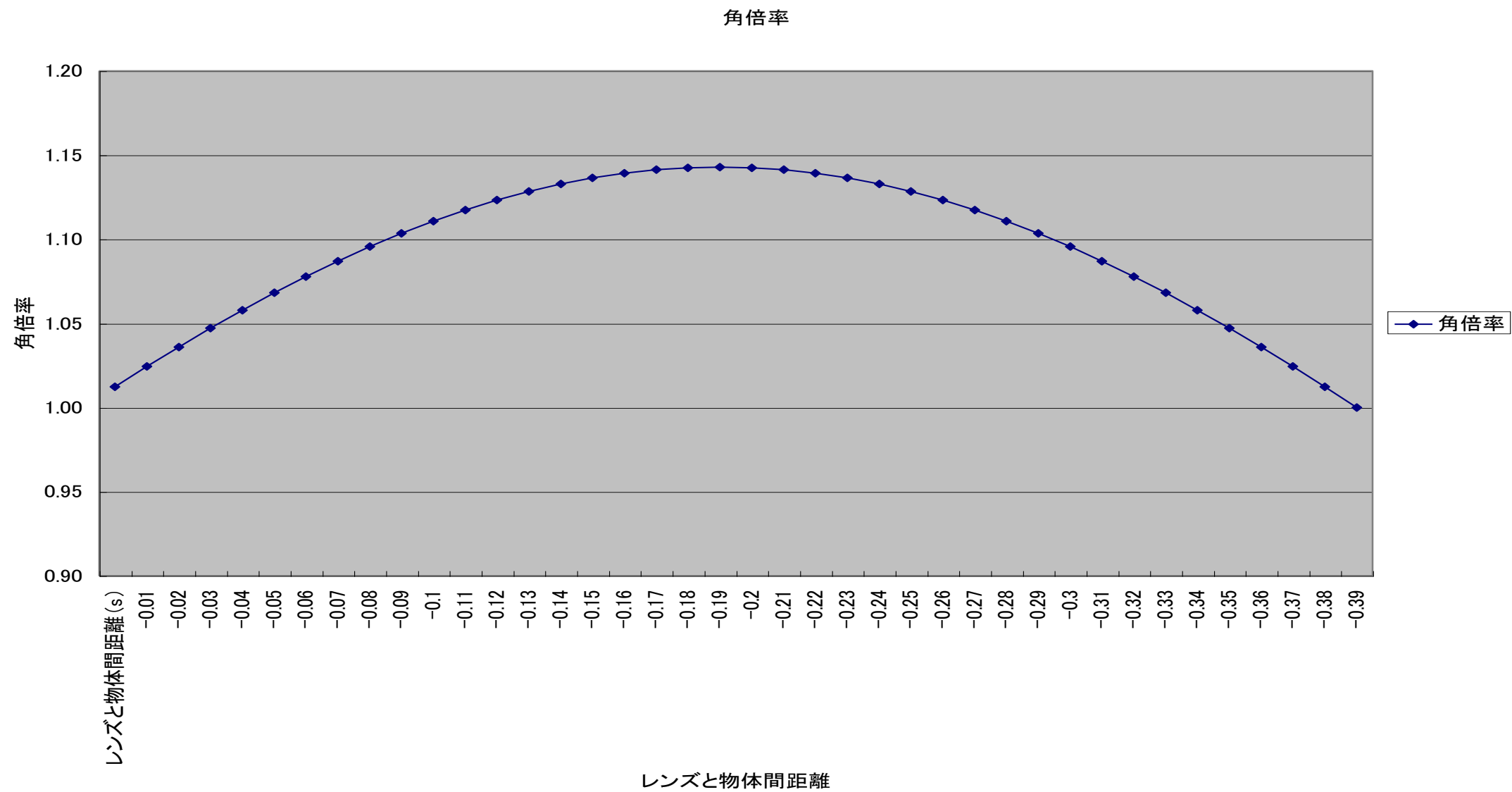


レンズと物体間距離が中間のところでは最高となり、+2.86D が最高値となった。

1.3 角倍率 (M_A) : 眼と物体間距離、EVP の積

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

レンズと物体間距離、角倍率の関係は次のグラフのようになった。



レンズと物体間距離が中間のところでは最高となり、1.14倍が最高値となった。

1.4 レンズと物体間距離、横倍率、EVP、角倍率、調節力

レンズと物体 間距離: m	横倍率: X	EVP: D	角倍率: X	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

典型的な使い方としてアームを机に平行にすると、レンズと物体間距離は 16cm となり、表より横倍率は 1.25 倍、EVP は 2.84D、角倍率は 1.14 倍となった。

2. 横倍率、EVP、角倍率を利用して1.8倍になるための条件

2.1 横倍率が1.8倍となる条件

式(1)に $M_T=1.8$ 、 $F = +1.25$ を代入するとレンズと物体間距離は約 35cm となった。

2.2 EVP が参照距離 25cm で 1.8 倍となるための

条件 d : レンズと眼間距離, F_a : 調節力

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

$$F_a = F_e (1 + sF) \quad (2)$$

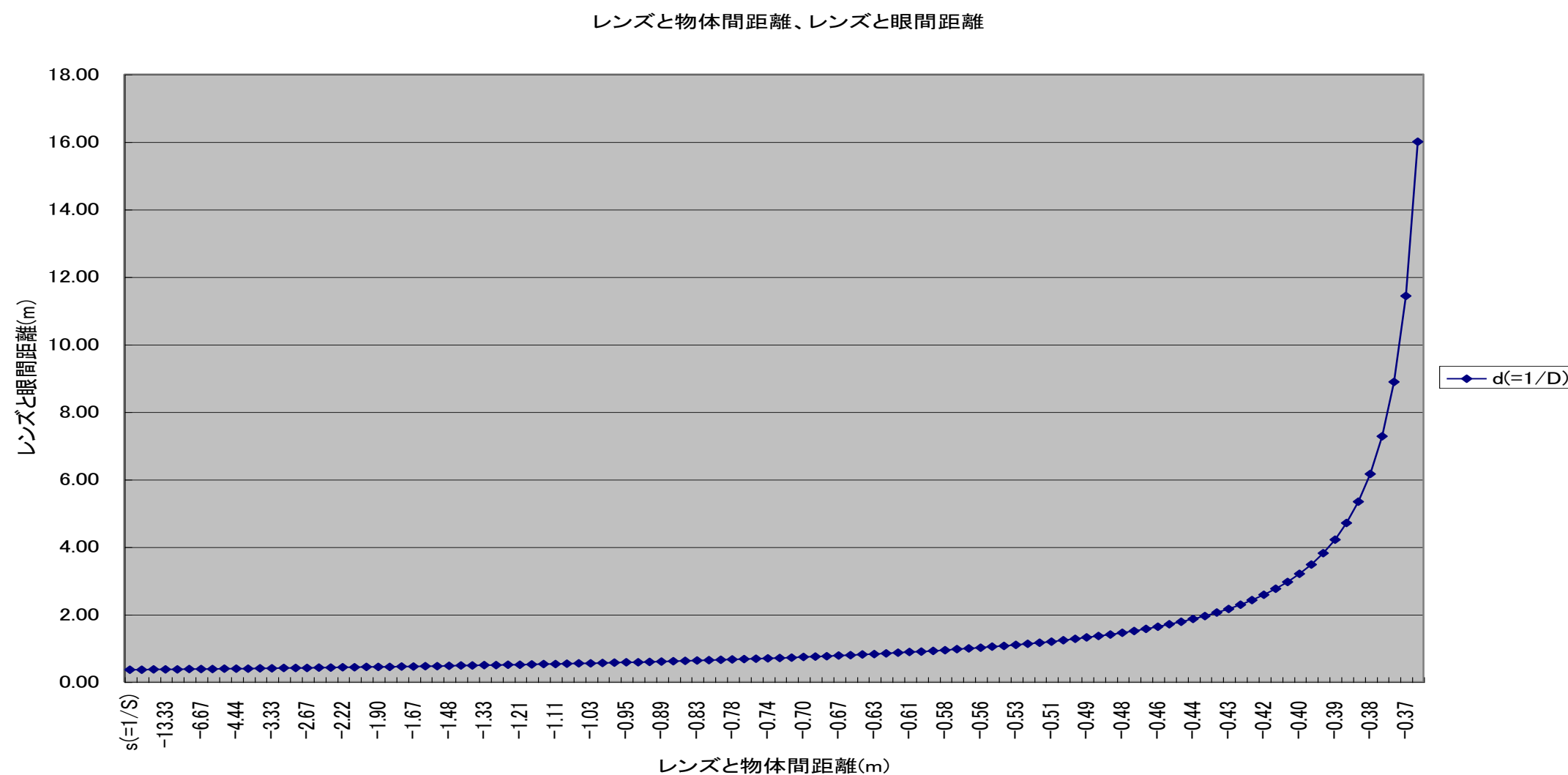
参照距離を 25cm としたときに 1.8 倍になるための EVP は 7.2D (1.8×4) である。レンズと物体間距離、レンズと眼間距離、横倍率、調節力の数値は右の表のようになった。EVP を利用して 1.8 倍となるための条件は調節力によって変化するが、レンズと眼間距離が 0 以上で、調節力が最小となるのはレンズと物体間距離 13.9cm、

レンズと物体間距離: m	レンズと眼間距離: m	横倍率: x	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
-0.140	-0.002	1.21	5.94
-0.147	-0.010	1.23	5.88
-0.154	-0.018	1.24	5.82
-0.160	-0.026	1.25	5.76

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。

2.3 角倍率が 1.8 倍となるための条件

レンズと物体間距離、レンズと眼間距離の関係は以下のようにになった。

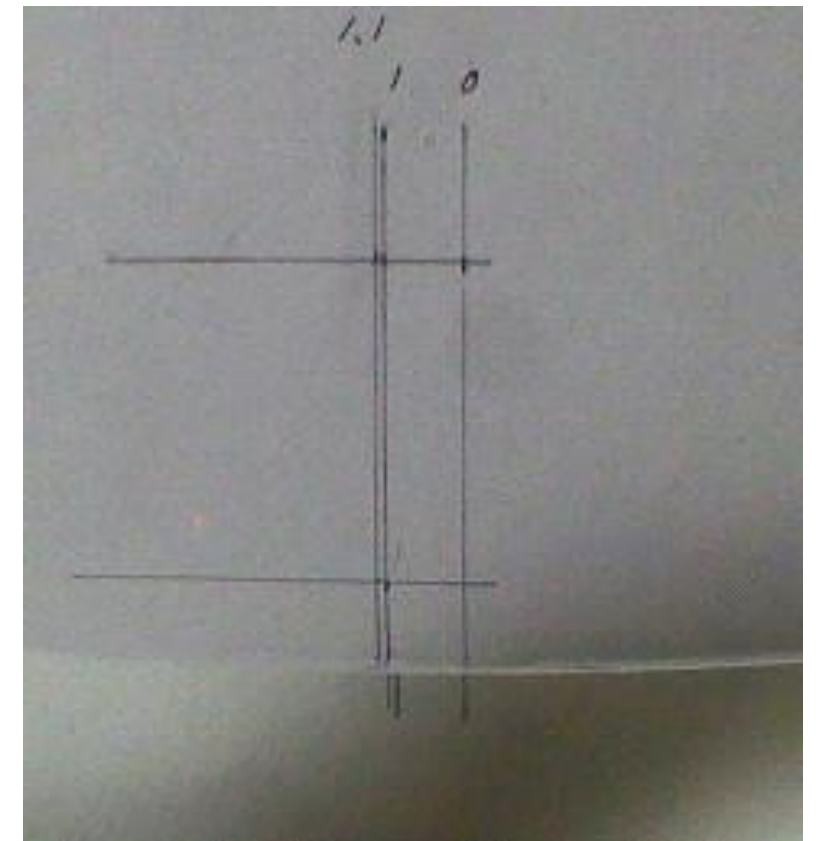


極限の状態としてはレンズと物体間距離が無限遠でレンズと眼間距離が 35cm、もしくはレンズと物体間距離が 35cm でレンズと眼間距離が無限遠のときに角倍率は 1.8 倍

となった。しかし、現実的に物体もしくは眼をレンズから極端に離して拡大鏡を使用することはなく、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にできるだけ短くする必要があるので、71cm がかりうじて実際に使える距離であった。

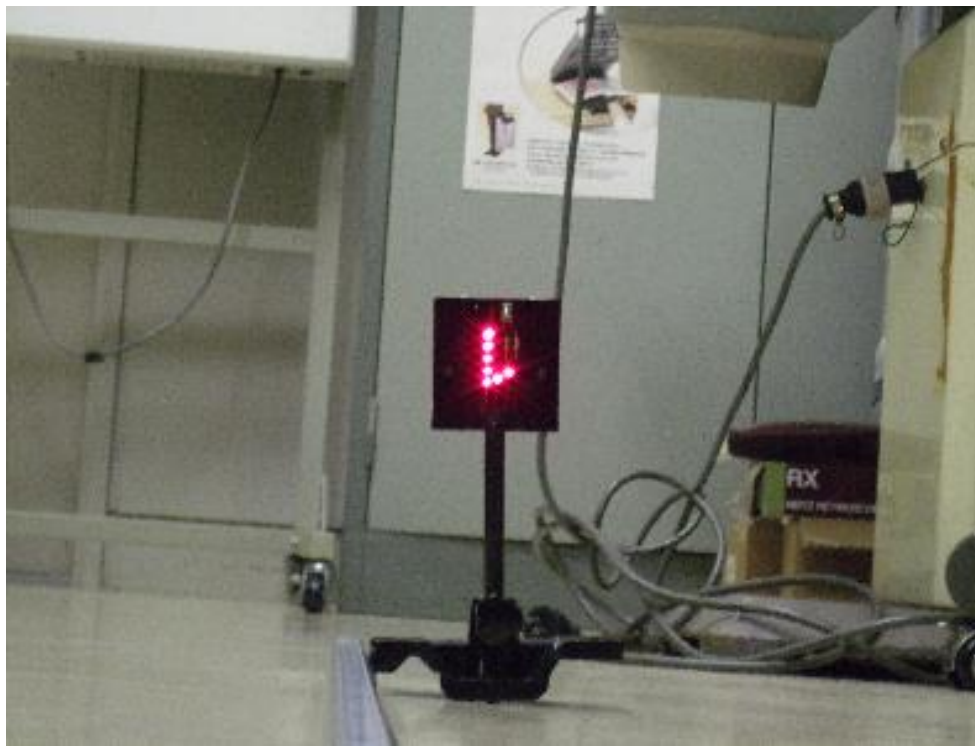
【考察】

SHINBI はレンズの位置を自由に変化させられるため、使用者は自然な姿勢とされる机（物体）と眼間距離 40cm で使えるようにレンズの位置を調整しようとする。レンズを物体と眼の間で動かせると、レンズを書面から持ち上げるに従って横倍率は単調増加した。また EVP は増加後、物体と眼の中間地点で最高となり、再び低下していくことが分かった。つまり、像を一番大きく見ることができるレンズの位置は物体と眼間距離の中間である 20cm であり、角倍率は 1.14 倍であった。典型的なレンズの置き方とし

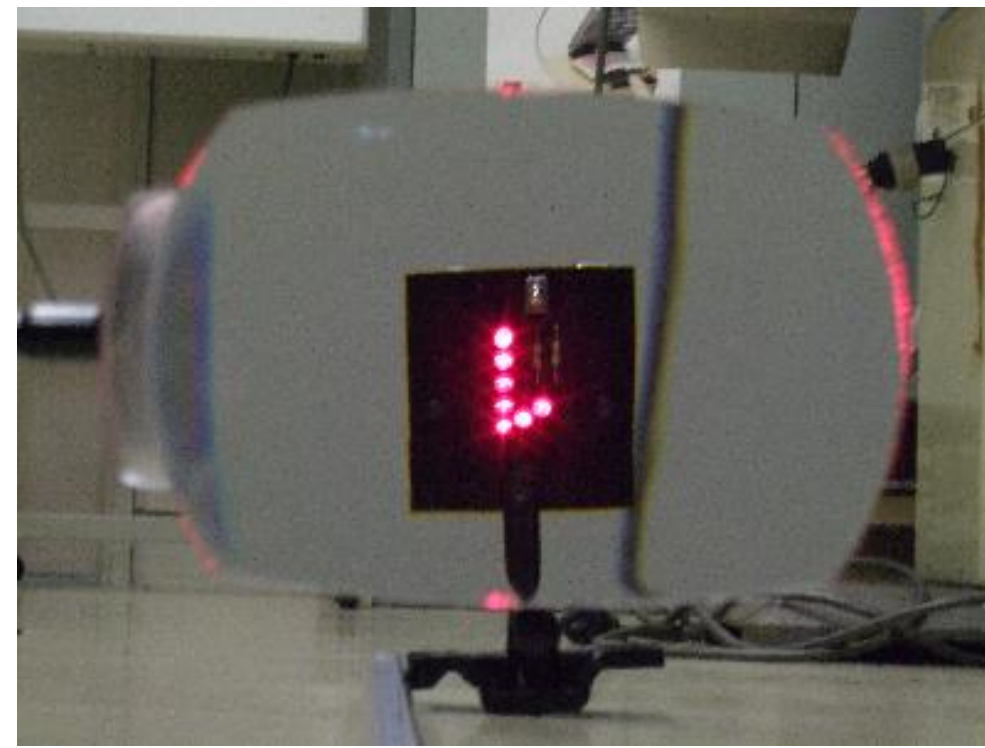


てアームを机と平行にして置くとレンズと物体間距離は 16cm で、像の様子は写真で観察すると 1cm が 1.1cm に見えていて、約 1.1 倍であった。このときの計算による角倍率は表より 1.14 倍であり、調節力はレンズと物体間距離 20cm のときより +0.13D だけ増加するだけで、見かけ上の大きさはあまり変わらないことが分かる。

横倍率が 1.8 倍になるのは物体とレンズ間距離が 35cm のときであり、また角倍率では物体とレンズ間距離が 35cm のときにはレンズと眼間距離を無限遠にすれば 1.8 倍になるので、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分かる。しかし、拡大鏡は眼とレンズから極端に離し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、レンズと眼間距離はそれぞれ 71cm となった。見え方を写真で観察すると物体から 142cm の距離から見た状態が左写真、物体から 71cm にレンズを置き 142cm の距離から見た状態が右写真のようになり、写真に写った像の大きさの比を求めるとおおよそ 1.8 倍になるのが確認できた。



物体から 142cm で見た状態図



物体から 71cm にレンズを置いた状態

EVP が参照距離 25cm で 1.8 倍になるには、調節力が最小の +5.95D の場合でレンズと物体間距離 13.9cm、レンズと眼間距離 0cm であるが、それだけの調節力を働かせることは現実的には困難であろう。式(2)より横倍率が増加すると、EVP がレンズの屈折力よりも大きい場合はレンズと眼間距離は焦点距離よりも減少し、逆に EVP がレンズの屈折力よりも小さい場合はレンズと眼間距離は焦点距離よりも増加し、また EVP が拡大鏡の屈折力と等しければレンズと眼間距離は焦点距離と等しくなるが、全ての場合で調節力は減少することが分かる。

韓国のメーカーの説明によれば表示倍率の 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との回答を得た。しかし、その根拠は不明であった。

拡大鏡の倍率は基準となる定義が決められているものの、実際に使用するさいの物体、レンズ、眼の相互の位置関係によって見かけの像の大きさは異なるため、様々な表現方法が存在し、使用者にとっては分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においては現在表記されている韓国の基準である、物体とレンズ間距離を 35cm にしたときの横倍率 1.8 倍に加えて、商用倍率 $(F/4)+1=1.3$ 倍を併記すると単純に他の拡大鏡と屈折力の大きさを比較できるのではないだろうか。

文献

- 1) 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 Vol.28 No.5、510-511、2006.
- 2) 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.
- 3) William L. Brown, Dennis W. Siemsen: Magnification labels for stand magnifiers: Always misleading and usually unachievable, Optometry 79, 9-17, 2008.
- 4) 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 Vol.28 No.7、718-723、2006.
- 5) Alan W Johnstom: Understanding how simple magnifiers provide image enlargement, Clinical and Experimental Optometry 86 6, 403-408, 2003
- 6) George C Woo, Andrew Mah-Leung: The term magnification, Clinical and Experimental Optometry 84 3, 113-119, 2001.