
ロービジョンの検査における視力の測定と解釈

日本ライトハウス養成部

田邊 正明*

はじめに

香港理工大学のGeorge Woo先生より第11回 Asia Pacific Optometric Congress Seoul 1997で発表された論文“Measurement and interpretation of visual acuities in a low vision examination”を日本語訳する提案をいただいたが、直訳しただけでは日本の読者には理解が難しいため、改変して紹介することになった。そこにはロービジョンの視力は小数視力ではなく対数のスケールで表記することにより改善効果が明白になることが解説されている。また、ロービジョンの屈折矯正にあたっては検眼の際に許容屈折度の考え方も含めることが有用と考えたので、まとめて紹介する。

I. 視力とは — 分数視力、小数視力、logMAR、対数視力 —

ロービジョンの検査のなかで、視力検査は重要な位置を占めている。視力検査の歴史は古く、13世紀ころの天文家の記録によると、アラビアでは北斗七星のひしゃくの柄の先端から2番目の星Mizarの傍らにあるAlcorを視力検査に用いていたようで、これをal-Saidak（眼試し）と呼んでいた。日本ではこれを古来より添え星と呼び、地域によっては寿命星とも呼ばれて、この星が見えなくなると死期が近いと考えていたようである¹⁾。

視力測定に用いられる視標のひとつであるLandolt環は1909年にイタリアの国際眼科学会で国際的な標準視標になり、1980年にはアメリカの全米科学アカデミー - 全米研究会議 (National Academy of Science - National

*たなべただあき 日本ライトハウス養成部

〒538-0042 大阪市鶴見区今津中二丁目4番37号 TEL06-6961-5521

Research Council (NAS-NRC)の視力委員会(Committee on Vision)によって標準視標に採用されている。委員会は同時にランドルト環の実用性における欠点を認識し、ランドルト環と同一基準になっていれば他の視標も支持することとなった。欧米では遠見視力の評価にはフィート系もしくはメートル系のSnellen分数視力表を使用する。カナダではメートル法が法的に採用されているが、臨床医によってSnellenの分数視力の表記法の保留が主張され、20/20のように分子には検査距離であるフィートが用いられている。イギリスでは分数視力の分子には検査距離がメートルで6/6のように記載される。分母は視角に分子の数値を掛けた数値が用いられる。検査距離は4mが標準とされながらも6mがいまだに採用されている²⁾。日本ではランドルト環が視標の標準で、小数視力が使われていて、検査距離は5mである。

視力測定の実理は2点を2点として分離して認識できる最小分離閾の最小視角(minimum angle of resolution: MAR)を角度の単位である「分」(min of arc)で測定し、その逆数を小数視力(visual acuity: VA)としている。通常視力というと無限遠の距離の代わりに6m、5m、4mなどの距離で測定した遠見視力をいうが、読書のためには30cm、40cmなどの距離で測定した近見視力を用いる。ランドルト環では1.5mmの切れ目を5mの距離から認識できれば小数視力1.0としており、原理は以下のようになる(図1参照)。

小数視力1.0を求めるためには、図1に示した最小視角 θ (MAR)は十分微小な角であるから $\triangle ABC$ は直角三角形と仮定すると次の式が成り立つ。

$$MAR = \theta \cong \tan \theta = \frac{1.5}{5000} = 0.0003 \text{ rad}$$

$$57.3 \times 0.0003 = 0.01719^\circ$$

$$0.01719 \times 60 = 1.0314'$$

$$\frac{1}{1.0314} \cong 0.9696 \cong 1.0$$

つまり、視力は1.0となる。

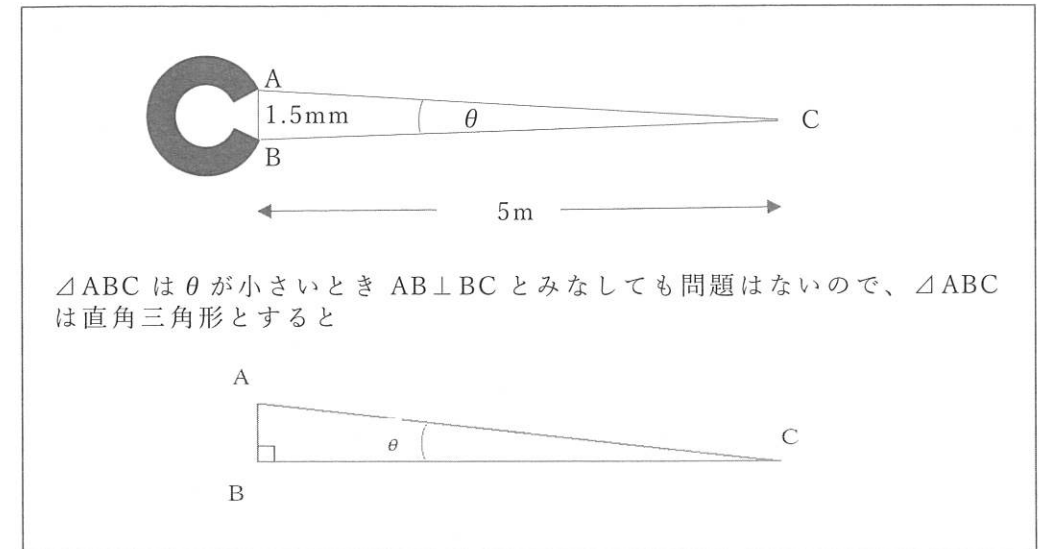


図1 視力1.0で用いるランドルト環

$\log MAR$ は最小視角(MAR)の常用対数(底は10)であって、間隔尺度であるため、平均を求めることができる。小数視力(VA)は間隔尺度ではないため、平均を求めるためには小数視力をまず $\log MAR$ に変換して平均を求め、再び小数視力に戻す必要がある³⁾。対数視力は小数視力の対数をとったもので、 $\log VA = -\log MAR$ となり、対数視力は $\log MAR$ 値と絶対値は等しいが異符号である。 $\log MAR$ の次元は「分」(min of arc)であり、対数視力と同様に $\log MAR$ 視力と表現するのは間違いで、 $\log MAR$ 値と表現するのが望ましい⁵⁾。

II. ロービジョンの視力

ロービジョン患者の残存視力について得られた情報は、多くの拡大装置の選択を含む治療計画にとって最も重要である。医学的評価ではたびたび機能的視覚(functional vision)と視力(visual acuity)を同一視するが、視力は実際の生活場面の状況を正確に反映しているわけではない。近年では機能的視覚をFVS(functional vision score)として数値化し、視覚障害の総合的な判断基準として用いられるようになっている。

次の例は視力に関する私たちの伝統的な知識が誤った考えであることを説明する。例えば近視の患者の裸眼視力が0.5であるとする。矯正するとその人の視力は1.0になる。この事例では、裸眼視力から矯正視力への視力の改善は50%である(図2にある縦軸を参照)。この場合の屈折異常はおおよそ-0.75D程度の軽度の近視であるが、かかりつけの医師は患者に遠方の屈折矯正が必要であることを伝える。しかし、裸眼視力が0.05のロービジョン患者が上述のかかりつけ医を訪れたとき、このかかりつけ医は屈折矯正で視力が0.1まで得られることを発見するが、遠方の屈折矯正が必要であることを説明するのは難しい。数学的意味合いではその改善の程度は、“正常な”中心視力の5%である0.05から、“正常な”中心視力の10%である0.1へのたった5%の増加であるという意味になる(図2参照)。確かに医師の中にはこのような範疇にあるロービジョン患者に矯正してもしなくても法的には視覚障害であるから遠方の

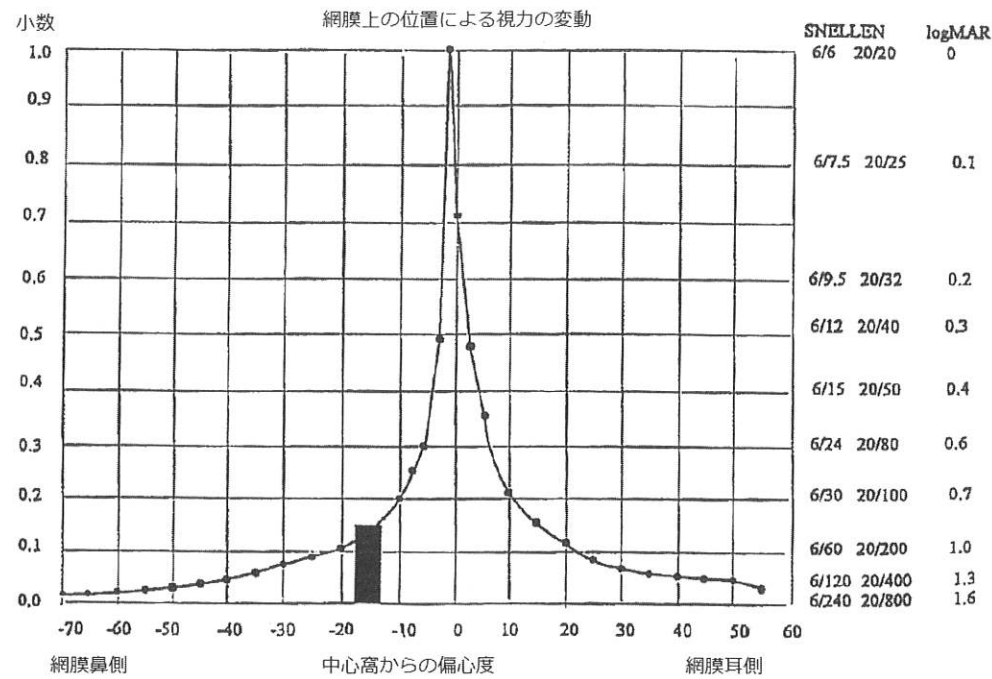


図2 網膜の位置による小数視力⁴⁾
 訳者注：黒色の棒線で示された部分は盲点

屈折矯正は必要ではないと助言するだろう。しかしながらそのような改善は重要な主観的および機能的改善を患者にもたらす可能性がある。テストフレームで患者に生活の中で使ってもらおうと、患者から医師に即座のフィードバックがある可能性があり、医師は眼鏡による矯正を検討するであろう⁴⁾。

図2は網膜の位置による小数視力を表している。図3は縦軸を小数視力からlogMARに変え、線形から対数に目盛を変化させたものである。対数目盛を使うと明るさと物の見え方の関係を表す背景輝度と輝度対比弁別閾(<https://www.iwasaki.co.jp/lighting/support/tech-data/knowledge/unblanking/04.html>)や、錐体桿体のスペクトル感度など多くの視覚的閾値が対数で計測されることが分かる。つまり、前述のふたつの例(0.5から1.0、0.05から0.1へと視力が変化した例)で説明した矯正による視力の変化と改善は小数視力で2倍、

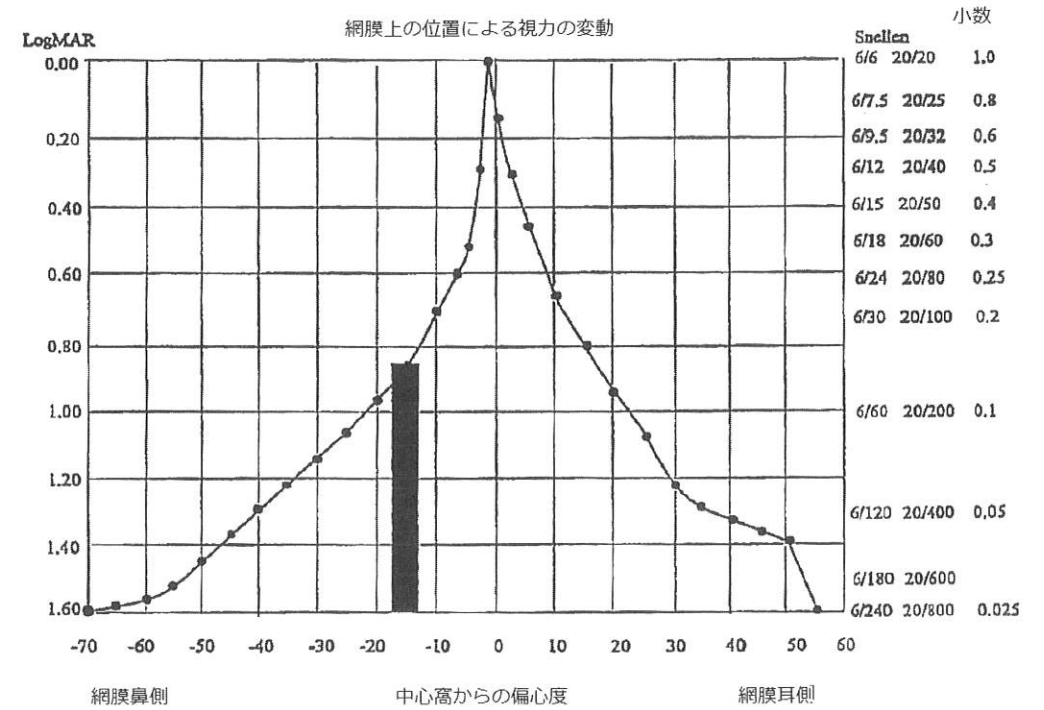


図3 網膜の位置によるlogMAR⁴⁾
 訳者注：黒色の棒線で示された部分は盲点

もしくは図4に見るように対数単位で0.3となって同じ意味を持ち、低視力でも矯正すべきであることが分かる⁴⁾。

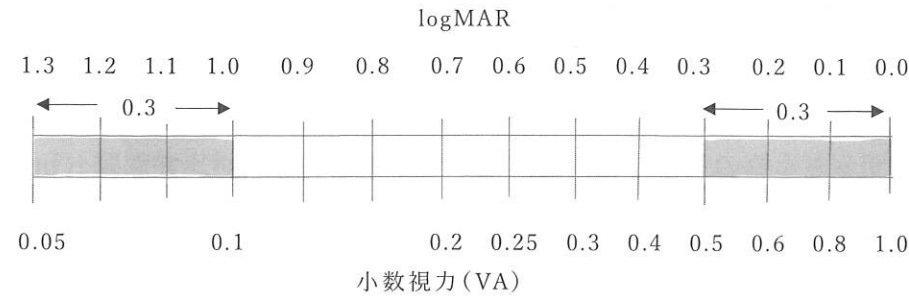


図4 logMARを目盛にしたときの視力0.05から0.1と0.5から1.0の変化

logMARチャートはSloan (1959)、Bailey-Lovie (1976)、Regan (1988)、Strong and Woo (1985) らによって発表されている⁴⁾。

Ⅲ. ロービジョンの近見視力の表記法

1. M表記法

ロービジョン評価における近見視力測定では、M表記法が簡易に用いられる。1Mの印字は図5のように1メートルで5分の弧に向き合っていて、理論的には遠見視力1.0に相当する。理論的背景は文字Eを例にとり図5を参照に解説すると次のようになる。

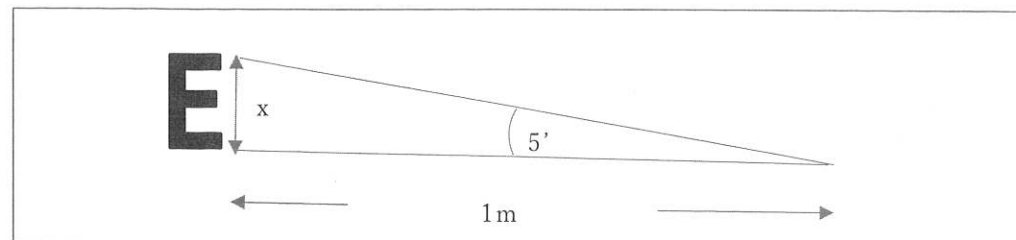


図5 1Mサイズの文字Eが1mで5分の視角に向き合っている状態

文字の大きさは視角5分をラジアンに変換して求める。

$$1 \text{ rad} = 57.3^\circ = 3438'$$

$$\therefore 1' = 0.00029 \text{ rad}$$

$$5' = 0.00145 \text{ rad}$$

5'は十分微小な角であるから、xを文字Eの大きさとする

$$\frac{x}{1} = x = \tan 5' = \tan 0.00145 \text{ rad} \cong 0.00145$$

つまり、1Mの文字幅は0.00145m。最小視角 θ はその1/5の辺に向き合った角となり、最小分離閾の2点間距離は

$$\frac{0.00145}{5} = 0.00029 \text{ m}$$

である。

M表記法を近見視に用いるために、1Mサイズを0.4mに近づけたときの最小視角 θ は図6のようになる。

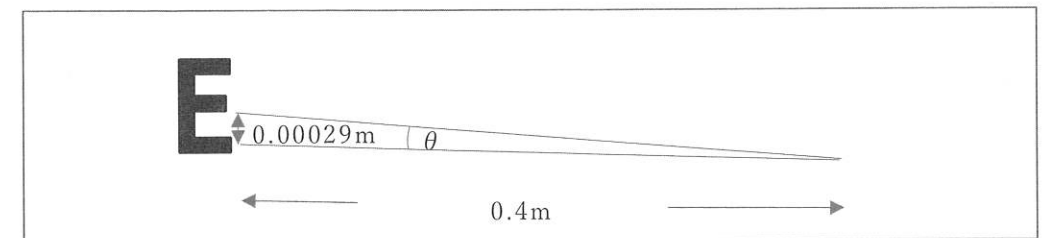


図6 0.4mに1Mサイズを近づけた状態

最小視角 θ から小数視力(VA)を求めると、

$$\theta \cong \tan \theta = \frac{0.00029}{0.4} = 0.000725 \text{ rad}$$

$$0.000725 \times 57.3 = 0.0415425^\circ = 2.49255'$$

$$\therefore VA = \frac{1}{2.49255} = 0.4$$

つまり、40cmの距離と1M文字の解像度から視力は0.4に相当する。

近見視力はMサイズの印字と距離（例えば25cmで2M）として記録する必要がある。ロービジョンでの典型的な近見視力の測定距離は40cmから10cmの範囲で変動する。40cmの固定された距離ではロービジョン患者の残存近見視力は、10Mから1Mの範囲のM表記法の使用で得られる⁴⁾。

2. 様々な表記法

近見視力を記録する方法は表1のようにいくつかあるが、北アメリカで普及している表記法はSnellenとlogMARである。小数視力とJaeger表記法は残存視力をうまく示すことができないため、視力の指定における混乱を少なくするために用いないほうがよい。ポイントタイプはプリンターによって採用されていて、N表記法はイギリス、オーストラリア、カナダにおける眼科医が使用するために採用されており、うまく機能している。M表記法はおそらく世界の標準的な指標として用いられるだろう⁴⁾。

表1 近見視力の表記法（Waterloo大学のロービジョン評価フォームより）⁴⁾

M表記法 40cm	縮小された Snellen 40cm	Point 40cm	J表記法 40cm (Jaeger)	N表記法 40cm (Times Roman)	一般的な用途
4	40/40	3		3	医療用ボトルのラベル
5	40/50	4	1	4	株式市場の印刷
6	40/60	5	2	5	脚注
8	40/80	6	3	6	電話帳
1.0	40/100	8	5	8	小コラムの新聞印刷物
1.2	40/120	9	7	10	タイピング
1.6	40/160	12	10	13	9歳から12歳までの本
2.0	40/200	14		16	コンピュータディスプレイ(80列)
2.5	40/250	18	12	20	7歳から8歳までの本
3.0	40/300		14	24	拡大本
4.0	40/400	24	15	32	中見出し
8.0	40/800		16	65	新聞の大見出し

臨界文字サイズを求める読書チャートのMNREADではM表記法、ポイント、小数視力、logMARが表記されていて、英語版MNREADは40cmで計測するため1Mは小数視力0.4と等価になっている。

3. 指数弁、手動弁、光覚弁

指数弁を小数視力に変換するには、検査に用いる指を0.1の指標と等価と考える。そうすると50cmで指の数を数えればおおよそ0.01の視力と考えられる。しかし、黒地に白の視標と異なり、検査者の洋服の色を背景にした指を見るために低コントラストとなっていることを考慮する必要がある。手動弁は指数弁の1/10と仮定するので、50cmで指の動きが分かれば0.001となる。光覚弁は視力ではなく、光刺激を感じるだけなので、視力から除外する必要がある³⁾。

IV. コントラスト

ロービジョン者は視力だけでなく、色の濃淡によっても見え方が変わる。濃淡を表すにはコントラストを用いる。コントラストとは並置されているものと著しくことになっていることをいい、その定義は

$$\text{平均輝度} = \frac{\text{最大輝度} + \text{最小輝度}}{2}$$

$$\text{振幅} = \frac{\text{最大輝度} - \text{最小輝度}}{2}$$

とすると

$$\text{コントラスト} = 100 \frac{\text{振幅}}{\text{平均輝度}} = 100 \frac{\text{最大輝度} - \text{最小輝度}}{\text{最大輝度} + \text{最大輝度}} (\%)$$

で表される。

コントラストの感じ方を表すにはコントラスト感度を用いる。コントラストを明暗の差がないようにどんどん低くして、縞模様が判別できる限界のことをコントラスト感度という。人間は空間周波数が高くて（縞模様が細かくても）、低くても（縞模様が粗くても）コントラスト感度は低下する。検査装置にはVector Vision社のCSV-1000がある（図7）。

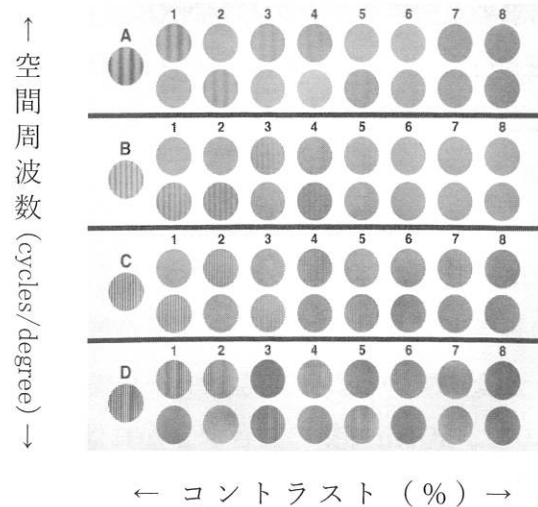


図7 コントラスト感度検査装置 (CSV-1000)

縦軸は空間周波数、横軸はコントラスト
 ニコン社 (https://www.opthalmic.nsl.nikon.com/products/csv_1000/test.html) より引用

空間周波数は視角1分あたりの縞本数を表し、単位はcycles/degreeである。コントラスト感度を縦軸にして、横軸に空間周波数をグラフにしたものがMTF (modulation transfer function: 空間周波数特性) で、正常な人のMTFは5 cycles/degreeを頂点とした山型の曲線になる (<https://www.yudaganka.jp/piece/115.html>)。

コントラストが10%と90%にした視力表を用いて検査すると、屈折異常による視力低下と視神経の異常による視力低下を判別可能であることがReaganによって報告されている⁶⁾。

V. ロービジョンの屈折矯正

ロービジョンの屈折矯正が通常の矯正と大きく違う点は許容屈折度¹を考慮する必要があるということである (許容屈折度の詳細はAppendixを参照)。

¹ 許容屈折度は川端秀仁著「ロービジョン患者の屈折矯正 (眼鏡)」⁷⁾に用いられている用語である。眼科検査用語としては定着していない。

つまり、低視力ではある程度のぼやけが許されるが、その原因は良好な視力では小さい錯乱円、不良な視力の場合は大きな錯乱円となるからである。そしてどれくらいのぼやけが許されるかの目安が許容屈折度である。カメラではフィルムに鮮明に映る像位置の範囲を表すために物体側は被写界深度、像側は焦点深度を定義し、像点のぼやけが許される範囲を許容錯乱円という (図8)。許容屈折度は被写界深度と焦点深度をディオプトリで表したもので、視力をxとすると $\pm 0.07/x$ で表される。そうすると、眼屈折力60D、瞳孔径4mmの正視眼では視力1.0の視標を見たときには許容屈折度は $\pm 0.07D$ であるのに対し、視力0.1の視標では $\pm 0.70D$ となる。つまり、それぞれの誤差の範囲は0.14D、1.4Dとなって、検眼レンズで用意されている度数にあてはめると、おおよそ1.0の視力の患者の検眼レンズの0.25Dの変化は0.1の視力を持った人の1.0Dの変化と同じくらいの意味があると考えられる。つまりレンズ交換法による自覚的屈折検査において、0.1の水準の患者に対しては、答えるさいに見え方の違いが簡単で安心して分かるようにするために十分相違のあるレンズの間で選択させる必要があることが分かる^{7,8)}。

まとめ

ロービジョンの視力検査では小数視力ではなくlogMAR値を用いると視力改善の比率が明瞭になる。たとえ視力値が低くても屈折異常を矯正すると日常生活の質が向上する可能性があるため、矯正眼鏡の処方が見られる。矯正レンズの効果を見るためには、低視力の場合は十分相違のあるレンズで比較するのがよい。視力検査の際にはコントラストの検査をすると屈折異常以外の病変を発見できる可能性がある。

謝辞

執筆にあたって専門用語についてご教授いただいた川崎医療福祉大学リハビリテーション学部視能療法学科、米田剛先生に深謝いたします。

Appendix^{7,8)}

許容屈折度の解説

1. 被写界深度と焦点深度、許容錯乱円

図8をもとに許容屈折度の考え方を以下に解説する(ただし眼前部の左側を負、右側を正として表す)。角膜と水晶体からなる眼前部の屈折力をDディオプトリ、物点位置におけるバージェンスをSディオプトリ($S < 0$)とすると、物点位置の距離は $1/S$ で表わされ、物点から発散された光線が眼前部で屈折されたあと網膜上に結像する光線のバージェンスは $S+D$ で表される。

被写界深度遠点のバージェンスを S_b ディオプトリ($S_b < 0$)とすると、被写界深度遠点は $1/S_b$ で表わされる。物点位置と被写界深度遠点におけるバージェンスの差を $+H_s$ ディオプトリ($H_s > 0$)とすると、

$$S_b = S + H_s \tag{1}$$

となる。

被写界深度近点のバージェンスを S_a ディオプトリ($S_a < 0$)とすると、被写界深度近点は $1/S_a$ で表わされる。物点位置と被写界深度近点におけるバージェンスの差を $-H_s$ ディオプトリとすると、

$$S_a = S - H_s \tag{2}$$

となる。

次に、被写界深度遠点、および被写界深度近点から発散された光線が眼前部で屈折された後、網膜後方に結像する光線のバージェンスはそれぞれ S_b+D 、 S_a+D であるから、式(1)(2)を代入すると

$$S_b + D = S + H_s + D = S + D + H_s$$

$$S_a + D = S - H_s + D = S + D - H_s$$

となる。

つまり、被写界深度も焦点深度もバージェンスで表すと $\pm H_s$ ディオプトリとなり、ここで $\pm H_s$ ディオプトリを許容屈折度と呼ぶのである。これらをも

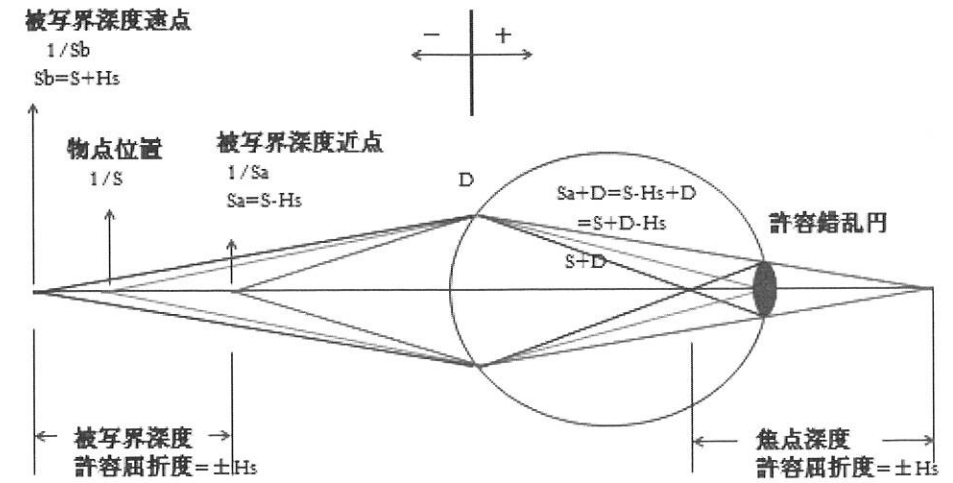


図8 被写界深度と焦点深度

とに視力に対応した許容屈折度を求めていくことにする。

図9をもとに許容錯乱円をみていく。視力測定ではランドルト環の隙間が認識できればよいが、隙間がぼけて重なってしまえば2点が離れていることが認識できない。ランドルト環の端を点と考えて網膜上にぼけた円として映ると仮定すると、このふたつの円が重ならないためにはそれぞれの円の半径を y とすると、それぞれの円は $2y$ だけ離れていれば点は重ならない。つまり、ランドルト環のすきまの中間点から射出された光が半径 y の錯乱円となると考えればよいことになる。これを許容錯乱円とするのである。

小数視力 x に対応する許容錯乱円の直径 $2y$ を求めてみる。直径 $2y$ に向き合う角を θ ラジアン、眼の節点と網膜の間の距離を 16mm ($16000\mu\text{m}$)とすると、小数視力 x を360度法の分に変換すると $1/x$ 分、さらに度に変換すると $1/(60*x)$ 度、さらにラジアンに変換すると1度は $1/57.3$ ラジアンであるから、視力 x において向き合う角 θ は

$$\theta = \frac{1}{57.3 \cdot 60 \cdot x} \text{ラジアン} \tag{3}$$

近軸光線では $\theta/2$ は $\tan(\theta/2)$ とほぼ等しいから、 $y/16000\mu\text{m}$ である。つまり、

$$\frac{\Theta}{2} \cong \tan \frac{\Theta}{2} = \frac{y}{16000}$$

yについて整理すると、

$$y = 16000 \times \frac{\Theta}{2} \tag{4}$$

許容錯乱円の直径は2yであるから、式(3)(4)より

$$\begin{aligned} 2y &= 16000 / (57.3 \cdot 60 \cdot x) \\ &= 4.65 / x (\mu\text{m}) \end{aligned}$$

となる。

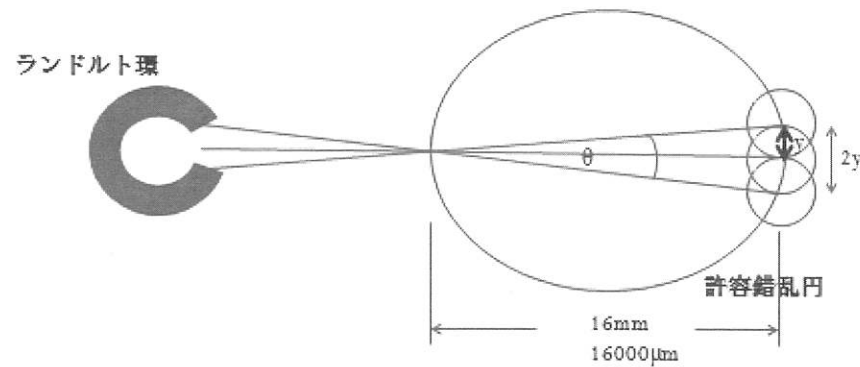


図9 視力と許容錯乱円

2. 瞳孔径と許容錯乱円、許容屈折度

瞳孔径と許容錯乱円から遠視状態の場合を図示して許容屈折度を求める(図10)。瞳孔径は4mmとする。遠点は網膜後方にあり、許容錯乱円は4.65/x(μm)、眼の節点から網膜までの距離は16000μm、遠点までの距離をdc、網膜と遠点間距離はdc-16000とすると、相似関係にある三角形から

$$4000 : 4.65/x = dc : (dc-16000)$$

の関係が導かれる。dcについて整理しメートルに変換すると

$$dc = 64x / (4000x - 4.65) \text{ m}$$

となり、逆数にしてバージェンス(Dc)を求めると、

$$Dc = (4000x - 4.65) / 64x = 62.5 - 0.07/x$$

さらに被写界深度近点に対応させて考えると、Sa + D = Dc = 62.5 - 0.07/x、Sa = S - Hsより、

$$S - Hs = 62.5 - D - 0.07/x$$

となり、ここで、D=1000/16=62.5、物点が無限遠なのでS=0とすると

$$Hs = 0.07/x$$

が求められる。よって、近視状態の場合と合わせると

$$\text{許容屈折度} = \pm 0.07/x$$

となる。

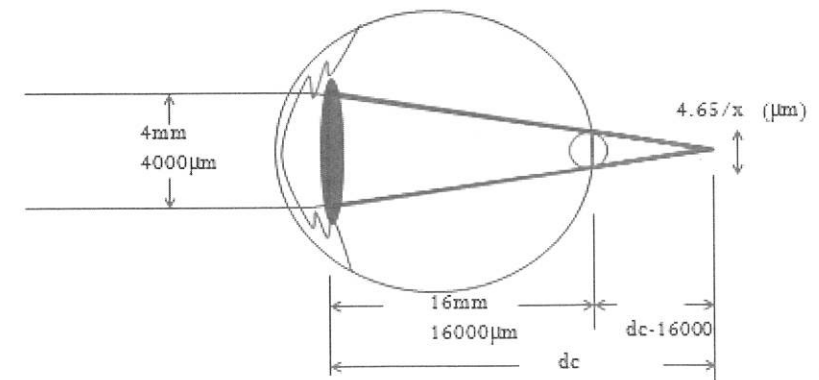


図10 瞳孔径と許容錯乱円、許容屈折度

よって、視力と許容屈折度の関係は表2のようになった。

表2 視力と許容屈折度

視力	許容錯乱円(μm)	許容屈折度(D)
1.0	4.65	± 0.07
0.5	9.31	± 0.14
0.3	15.5	± 0.23
0.2	23.3	± 0.35
0.1	46.5	± 0.70
0.05	93.1	± 1.40
0.02	233	± 3.50
0.01	465	± 6.98

引用文献

- 1) 前田史篤：視力とは何か？. 第57回日本眼光学学会総会プログラム・抄録集, 日本眼光学学会：27, 2021.
- 2) Strong G, Woo: A distance visual acuity chart incorporating some new design principles. Arch Ophthalmol 103(1): 44-46, 1985.
- 3) Jack T. Holladay: Proper method for calculating average visual acuity. Journal of refractive surgery 13: 388-381, 1997.
- 4) George Woo: Measurement and interpretation of visual acuities in a low vision examination. Proceedings of the 11th Asia Pacific Optometric Congress, Seoul 1997.
- 5) 魚里博：視力の表現とlogMAR. 視覚の科学25(2): 39, 2004.
- 6) Regan D: Low-contrast letter charts as a test of visual function. Ophthalmology 90(10): 1192-1200, 1983.
- 7) 川端秀仁：ロービジョン患者の屈折矯正(眼鏡). OCULISTA: 35-43, 2014.
- 8) 田邊正明：ロービジョンの眼鏡矯正. 眼鏡学ジャーナル 18(2)