

自動焦点単眼鏡（アイファイン）の作業空間と等価屈折力の 対応表作成

田邊 正明

日本ライトハウス養成部

魚里 博

新潟医療福祉大学医療技術学部

日 本 ロ ー ビ ジ ョ ン 学 会 誌

Journal of Japanese Society for Low-vision Research and Rehabilitation

自動焦点単眼鏡（アイファイン）の作業空間と等価屈折力の対応表作成

田邊正明

日本ライトハウス養成部

魚里 博

新潟医療福祉大学医療技術学部

Developing a Nomogram Using Working Space to Estimate Equivalent Power of an Autofocus Telescope

Tadaaki Tanabe

Welfare Center for the Blind, Nippon Lighthouse

Hiroshi Uozato

Faculty of Medical Technology, Niigata University of Health and Welfare

目的：自動焦点単眼鏡の作業空間に対応して変化する等価屈折力の表を作成する。

方法：自動焦点単眼鏡の実像の長さの実測値から等価屈折力を求めた。また近用アタッチメントレンズを装着した場合の等価屈折力を求める公式を導出、公式による計算値と実像の実測値から求めた数値を比較し、公式による計算値の有効性を検証した。

結果：公式による計算値は有効であった。等価屈折力は近用アタッチメントレンズなしで3.8~14.8D（作業空間95.0~25.0cm）、近用アタッチメントレンズ+3Dを装着すると15.1~25.0D（作業空間24.0~15.0cm）、+6Dを装着すると25.9~37.0D（作業空間14.0~10.0cm）であった。

結論：ロービジョン者が自動焦点単眼鏡で文字を読めたときの等価屈折力が+3.8~+37.0Dの間で算定され、拡大に必要な屈折力が求められた。

(日本ロービジョン学会誌 15: 52-57, 2015)

キーワード：自動焦点単眼鏡, 作業空間, 等価屈折力

Purpose: To develop a nomogram that estimates the diopter-equivalent power of an autofocus telescope with or without an attachment lens for near vision by measuring working space of the telescope.

Methods: The equivalent power of the telescope was estimated in relation to the width in centimeters of the actual image of the telescope when the image was clearly in focus on a viewing screen (the working space), with or without a +3D or +6D near-vision lens attached. The formula was derived to estimate the equivalent power of the telescope with the near-vision lens attached for any given diopter power of the near-vision lens.

Results: The equivalent powers measured without the attachment lens were between 3.8 and 14.8D with working spaces between 95.0 and 25.0 cm. The equivalent powers measured with the +3D and +6D attachment lens were, respectively, between 15.1 and 25.0D with working spaces between 24.0 and 15.0 cm and between 25.9 and 37.0D with working spaces between 14.0 and 10.0 cm.

Conclusions: Equivalent powers between 3.8 and 37.0D were estimated for people with low vision reading target letters using an autofocus telescope with or without a +3D or +6D near-vision attachment.

(J Jpn Soc Low-vision Research and Rehabilitation 15: 52-57, 2015)

Key Words: Autofocus Telescope, Working Space, Equivalent Power

緒言

自動焦点単眼鏡（商品名：アイファイン）はユーフレッ

クスからロービジョン用の拡大装置として発売されている（図1）。商品カタログによれば無限遠を見たときの倍率が3.5倍、近見視の作業空間の最短距離は30cmで、そこから無限遠まで焦点を自動で合わせながら倍率が変化する眼鏡

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 Imazunaka, Tsurumi-ku, Osaka 538-0042, Japan

型単眼鏡である。また、オプションの近用アタッチメントレンズ（図2）を装着すると作業空間を30cmよりも短くすることが可能である。通常の単眼鏡のように焦点合わせをする必要がなく、視線を向けると焦点が自動で合わせられ、鮮明な映像が得られる。

一方、田邊ら¹⁾はロービジョン者が使用する拡大鏡に必要な屈折力を単眼鏡にスケールをつけることによって測定できるとしたが、被験者が文字を鮮明に見えるように検査者は単眼鏡の鏡筒を手動で回し焦点合わせをする必要があり、操作方法が簡易ではなかった。その点、自動焦点単眼鏡は遠見視から近見視に至るまで鏡筒の調節を必要とせず、赤外線による距離の測定でモーターを駆動させ、近見視においては焦点合わせの感度を落とすことで頻繁な焦点合わせを防止して眼にやさしい環境を実現させており、操作が簡便である。そこで、自動焦点単眼鏡の鏡筒にスケールをつけられれば容易に等価屈折力が求められると考えられたが、自動焦点単眼鏡は対物レンズと接眼レンズがカバーケースの中に収納されており、鏡筒の移動による対物レンズと接眼レンズ間距離の変化を観察することができず、等価屈折力の目盛を鏡筒につけることができなかった。そこで、Bailey²⁾による凸レンズの等価屈折力を求める方法を用いて作業空間と等価屈折力の対応表を作成することにした。



図1 自動焦点単眼鏡（商品名：アイファイン）



図2 近用アタッチメントレンズ

対象および方法

自動焦点単眼鏡はオプションで任意の屈折力の近用アタッチメントレンズを装着できるようになっている。単眼鏡の等価屈折力は近用アタッチメントレンズの屈折力によって変化するため、様々な近用アタッチメントレンズを利用した場合の等価屈折力すべてを求めることはできない。本稿の実験に使用した近用アタッチメントレンズは+3Dであるが、更に任意の近用アタッチメントレンズにおいても等価屈折力を求められるように公式を利用し、一般化した。

自動焦点単眼鏡の等価屈折力の求め方は、まず近用アタッチメントレンズを装着しない等価屈折力を実験による実像の実測値から求めた（以下“実測法”と略す）。そして+3Dの近用アタッチメントレンズを装着する場合は、最初にすでに求められた近用アタッチメントレンズを装着しない場合の等価屈折力を利用することで、実験をせずに公式を利用した計算で求めた（以下“公式法”と略す）。次に+3Dの近用アタッチメントレンズを装着した場合を実測法で求め、公式法と実測法の比較を行い、公式法が有効であるかを検証し、一般化を試みた。

実測法による自動焦点単眼鏡の等価屈折力の求め方は、レンズの等価屈折力を求めるBailey²⁾の方法を用いた。原理は次のとおりである。

図3に示したように遠方の物体hはスクリーンにh'の倒立の実像を映し出し、次のことがわかる。

$\theta = \theta'$ で θ がとても小さな数値であれば $\tan \theta \cong \theta$ であるから、

$$\frac{d}{h} = \frac{d'}{h'}$$

dとhを定数とし、d'について変形すると次の式となる。

$$d' = h' \times \frac{d}{h}$$

つまり、h'を測定すればd'が求められることがわかる。

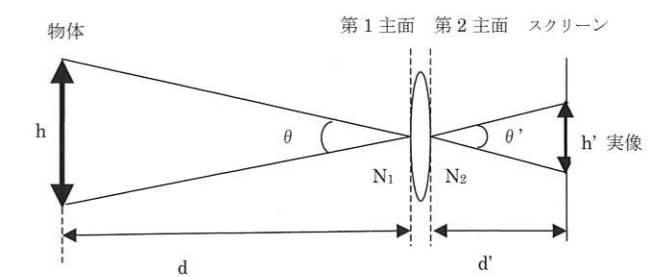


図3 物体とレンズ主面、実像の関係
 h: 物体の長さ、h': 実像の長さ、N₁: 第1主面、N₂: 第2主面、d: 物体と第1主面間距離、d': 第2主面と実像間距離

d' = “第2主点 N_2 から像までの距離” であり、等価焦点距離を f_e とすると、 d が遠い距離であれば $d' = f_e$ となるから等価屈折力 (F_{eq}) は、

$$F_{eq} = \frac{1}{d'}$$

$d = 5m$, $h = 1m$ とすると、

$$d' = h' \times \frac{5}{1} = 5h'$$

h' の単位を mm とすると、等価屈折力 (F_{eq}) は、

$$F_{eq} = \frac{1000}{5h'} \dots\dots\dots (1)$$

となる。

実験では正視眼で無限遠が見られるように自動焦点単眼鏡の視度調節を行った上、1m 離して設置した2本のフラッシュライトから5mの距離に自動焦点単眼鏡の接眼レンズ側をフラッシュライトに向けて光学台に設置 (図4)、鮮明に映った実像の長さを実測できるように目盛を付したスクリーンを光学台の対物レンズ側に設置した (図5)。スクリーンを動かすことで作業空間を1cmステップで変化させ、焦点が自動で合わせられスクリーンに鮮明に映った実像の大きさ (h' (mm)) を記録し、作業空間に対応した等価屈折力を式 (1) を利用して求めた。

次に任意の近用アタッチメントレンズを装着したときの自動焦点単眼鏡の等価屈折力、作業空間を求めるための公式を導出した。

F_{vc} を近用アタッチメントレンズの屈折力、 M を単眼鏡の角倍率とすると、単眼鏡の等価屈折力 F_{eq} は次の式であらわされる³⁾。



図4 接眼レンズをフラッシュライト側に向けて設置



図5 目盛をつけたスクリーンを対物レンズ側に設置

$$F_{eq} = M \times F_{vc}$$

ここで、近用アタッチメントレンズなしで近方の物体を見たときにおいて、実際の対物レンズを仮定の近用アタッチメントレンズと仮定の対物レンズの合成レンズとする。仮定の近用アタッチメントレンズの値 (F_v) は作業空間の距離の逆数であらわされる。近用アタッチメントレンズなしの作業空間に対応した等価屈折力 (F_{eq}) はすでに求められているので、仮定の対物レンズにより変化した単眼鏡の倍率 M_c は、次の式であらわされる。

$$M_c = \frac{F_{eq}}{F_v} \dots\dots\dots (2)$$

つまり、近用アタッチメントレンズを装着した場合の自動焦点単眼鏡の等価屈折力 F_{eqc} は、近用アタッチメントレンズと対物レンズ間距離を限りなく0に近いと仮定すると、

$$F_{eqc} = (F_v + F_{vc}) M_c \dots\dots (3)$$

また、作業空間の距離は、

$$\frac{1}{F_v + F_{vc}} \dots\dots\dots (4)$$

であらわされる。

近用アタッチメントレンズを装着した場合の公式法と実測法による数値の比較は回帰分析、Brand-Altman 分析で行い、公式法の有効性を検証した。

結 果

スクリーンに鮮明に映った実像の大きさは作業空間が25~95cmで実測できた。25cmのときには13.5mm、95cm

表1 自動焦点単眼鏡の作業空間と等価屈折力

作業空間 (cm)	実像の大きさ [h'] (mm)	等価屈折力 [1000/(5×h')] (D)
25.0	13.5	14.8
26.0	14.0	14.3
27.0	14.5	13.8
28.0	15.0	13.3
29.0	15.5	12.9
30.0	16.0	12.5
31.0	16.5	12.1
32.0	17.0	11.8
33.0	18.0	11.1
89.0	49.5	4.0
90.0	50.0	4.0
91.0	50.5	4.0
92.0	51.0	3.9
93.0	51.5	3.9
94.0	52.0	3.8
95.0	52.5	3.8

表2 +3Dの近用アタッチメントレンズを装着した場合の公式法により求めた作業空間と等価屈折力

近用レンズなしの作業空間 (cm)	仮定の近用レンズの屈折力 [F_v] (D)	仮定の対物レンズによる倍率 [M_c] (倍)	仮定と実際の近用レンズの合成屈折力 [$F_v + F_{vc}$] (D)	作業空間 (cm)	等価屈折力 (D)
25.0	4.0	3.7	7.0	14.3	25.9
26.0	3.8	3.7	6.8	14.6	25.4
27.0	3.7	3.7	6.7	14.9	25.0
28.0	3.6	3.7	6.6	15.2	24.5
29.0	3.4	3.7	6.4	15.5	24.1
30.0	3.3	3.8	6.3	15.8	23.8
31.0	3.2	3.8	6.2	16.1	23.4
		3.8	6.1	16.3	23.1
			6.0	16.6	23.1
			5.9	16.8	22.7
81.0					15.2
82.0	1.2				15.1
83.0	1.2				15.1
84.0	1.2	3.6			15.1
85.0	1.2	3.6	4.2	23.9	15.1
86.0	1.2	3.6	4.2	24.0	15.1
87.0	1.1	3.6	4.1	24.1	15.0
88.0	1.1	3.6	4.1	24.2	14.9
89.0	1.1	3.6	4.1	24.3	14.8
90.0	1.1	3.6	4.1	24.3	14.8
91.0	1.1	3.6	4.1	24.4	14.8
92.0	1.1	3.6	4.1	24.5	14.7
93.0	1.1	3.6	4.1	24.5	14.7
94.0	1.1	3.6	4.1	24.6	14.7
95.0	1.1	3.6	4.1	24.7	14.7

表3 +3Dの近用アタッチメントレンズを装着し実測法で求めた等価屈折力

作業空間 (cm)	実像の大きさ (mm)	等価屈折力 [1000/(5×h')] (D)
15.0	8.0	25.0
16.0	8.5	23.5
17.0	9.0	22.2
18.0	9.5	21.1
19.0	10.0	20.0
20.0	11.0	18.2
21.0	11.5	17.4
22.0	12.0	16.7
23.0	12.5	16.0
24.0	13.0	15.4
25.0	14.0	14.3
26.0	14.5	13.8
27.0	15.0	13.3
28.0	16.0	12.5
29.0	16.5	12.1
30.0	17.0	11.8
31.0	17.5	11.4
32.0	18.0	11.1
33.0	18.5	10.8
34.0	19.0	10.5

のときには52.5mmであり、等価屈折力の最大値は作業空間が25cmで14.8D、最小値は作業空間が95cmで3.8Dとなり、作業空間25cmと95cm間において1cmステップで等価屈折力の数値を求めた (表1)。

+3Dの近用アタッチメントレンズを装着した場合の作業空間と等価屈折力を式 (2) (3) (4) を利用して求めた結果は表2のようになった。

+3Dの近用アタッチメントレンズを装着した場合の作業

表4 +3Dの近用アタッチメントレンズの作業空間を等しくした公式法と実測法の等価屈折力

作業空間 (cm)	公式法の等価屈折力 (D)	実測法の等価屈折力 (D)
15.0	25.0	25.0
16.0	23.4	23.5
17.0	21.6	22.2
18.0	20.7	21.1
19.0	19.3	20.0
20.0	18.2	18.2
21.0	17.2	17.4
22.0	16.4	16.7
23.0	15.5	16.0
24.0	15.1	15.4

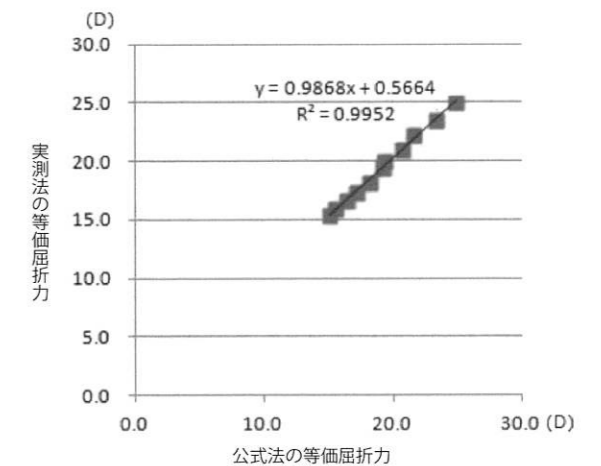


図6 等価屈折力の公式法と実測法の数値の回帰分析

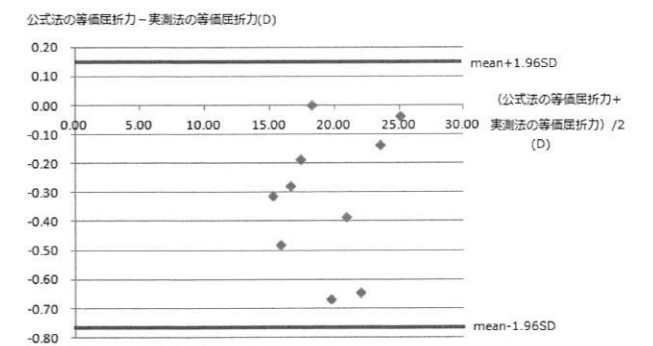


図7 等価屈折力の公式法と実測法の数値のBland-Altman 分析

表5 近用アタッチメントレンズなし、+3D、+6Dを装着したときの作業空間、等価屈折力

近用アタッチ メントレンズ (D)	作業 空間 (cm)	等価 屈折力 (D)	近用アタッチ メントレンズ (D)	作業 空間 (cm)	等価 屈折力 (D)	近用アタッチ メントレンズ (D)	作業 空間 (cm)	等価 屈折力 (D)	近用アタッチ メントレンズ (D)	作業 空間 (cm)	等価 屈折力 (D)
+6D	10.0	37.0	0D	32.0	11.8	0D	54.0	6.7	0D	76.0	4.7
	11.0	34.4		33.0	11.1		55.0	6.6		77.0	4.7
	12.0	30.5		34.0	10.8		56.0	6.5		78.0	4.6
	13.0	27.9		35.0	10.5		57.0	6.3		79.0	4.5
	14.0	25.9		36.0	10.3		58.0	6.3		80.0	4.5
+3D	15.0	25.0	0D	37.0	10.0	0D	59.0	6.2	0D	81.0	4.4
	16.0	23.4		38.0	9.8		60.0	6.1		82.0	4.4
	17.0	21.6		39.0	9.5		61.0	6.0		83.0	4.3
	18.0	20.7		40.0	9.3		62.0	5.9		84.0	4.3
	19.0	19.3		41.0	8.9		63.0	5.7		85.0	4.3
	20.0	18.2		42.0	8.7		64.0	5.6		86.0	4.2
	21.0	17.2		43.0	8.5		65.0	5.6		87.0	4.2
	22.0	16.4		44.0	8.3		66.0	5.5		88.0	4.1
	23.0	15.5		45.0	8.2		67.0	5.4		89.0	4.0
	24.0	15.1		46.0	8.0		68.0	5.3		90.0	4.0
0D	25.0	14.8	0D	47.0	7.8	0D	69.0	5.3	0D	91.0	4.0
	26.0	14.3		48.0	7.5		70.0	5.2		92.0	3.9
	27.0	13.8		49.0	7.4		71.0	5.1		93.0	3.9
	28.0	13.3		50.0	7.3		72.0	5.0		94.0	3.8
	29.0	12.9		51.0	7.1		73.0	4.9		95.0	3.8
	30.0	12.5		52.0	7.0		74.0	4.8			
	31.0	12.1		53.0	6.9		75.0	4.8			

空間にスクリーンを置き、スクリーンに映した実像を実測して等価屈折力を求めた結果は表3のとおりであった。

表2と表3から作業空間が同じ場合の公式法と実測法の等価屈折力を抽出すると表4のようになった。

公式法と実測法による等価屈折力を回帰分析すると図6に示したように、 $R^2=0.9952$ から相関係数は0.9976となっており高い相関が認められた。

Bland-Altman分析による散布図と、公式法と実測法の数値の差の平均が -0.31 ± 0.23 、95% limits of agreementの上側限界は0.15、下側限界は -0.77 であることから、公式法と実測法の数値の間には明らかな系統誤差は認められなかった(図7)。

考 察

自動焦点単眼鏡の作業空間に対応した等価屈折力がわかることで、読みたい文字に自動で焦点を合わせたときの単眼鏡の等価屈折力は、近用アタッチメントレンズなしの場合作業空間95cmで+3.8D、作業空間25cmで+14.8D、+3Dの近用アタッチメントレンズを装着すると作業空間34.0cmで10.5D、作業空間15.0cmで+25.0Dまで観測できた。+3Dの近用アタッチメントレンズを装着した場合の公式法で求めた等価屈折力と、実測法で求めた等価屈折力を比較検証した結果、高い相関が認められ明らかな系統誤差がなく、公式法の数値を使用することは有効であると考えられたため、+6Dの近用アタッチメントレンズを装着した場合を公式法で計算すると14.0cmの作業空間で+25.9D、

10.0cmの作業空間で+37.0Dまでの等価屈折力が得られると予想された。

自動焦点単眼鏡に近用アタッチメントレンズを装着しない場合と、+3D、+6Dの近用アタッチメントレンズ2枚をそれぞれ装着した場合をあわせて考えると、+3.8~+37.0Dまでの等価屈折力を連続して得られることがわかった。4Dを1倍として計算する拡大鏡の倍率に換算すると1~9倍までに相当する。近用アタッチメントレンズなし、+3D、+6Dの近用アタッチメントレンズを装着した場合の作業空間と等価屈折力の対応表をまとめると表5のようになった。

自動焦点単眼鏡と対応表の使用法は次のようになる。完全矯正をした状態で近用アタッチメントレンズを付けずに自動焦点単眼鏡を読みたい文字が読み取れる位置まで近づけ、表5を利用して作業空間に対応した等価屈折力を読み取る。もし、25cmまで近づけても読むことができなければ、+3Dの近用アタッチメントレンズを装着して同様に読み取れる位置まで近づけ等価屈折力を読み取る。更に、15.0cmまで近づけても読むことができなければ+6Dの近用アタッチメントレンズを装着し、作業空間に対応した等価屈折力を読み取る。10.0cmまで近づけて読み取れなければ、更に高屈折力の近用アタッチメントレンズが必要となる。最後に、読み取った等価屈折力と屈折矯正値を加え、弱視眼鏡の屈折力とすればよいと考えられた。

【利益相反公表基準に該当】なし

文 献

- 1) 田邊正明, 魚里 博: 拡大鏡に必要な屈折力の測定—単眼鏡を利用した Pilot Study—. 日本ロービジョン学会誌 14: 38-43, 2014.
- 2) Bailey IL: Verifying near vision magnifier. Part 2. Optometric Monthly 72 (2): 34-38, 1981.

3) Reich LN: Adjustable focus telescopes for near vision. Optometry and Vision Science 68: 183-188, 1991.

(2015年1月8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
