個人の最大視力に対する視力比の概念の導入 — 個人の視力に配慮した視認能力評価における背景輝度と 視距離の影響の取り扱いについて —

正会員 秋 月 有 紀 (奈良女子大学)

専門会員 井 上 容 子 (奈良女子大学)

The Concept of Visual Acuity Ratio to the Maximum Level of Individual Visual Acuity — The Evaluation Method of Background Luminance and Visual Distance on Visibility Taking into Account of Individual Visual Acuity —

Member Yuki Akizuki (Nara Women's University) and

Fellow Member Youko Inoue (Nara Women's University)

ABSTRACT

We use the maximum level of individual visual acuity (MVA) as an index for the individual visual ability. Also, we define the concept of the ratio of visual acuity under various environmental conditions for the MVA as Visual Acuity Ratio (VAR), in order to describe differences between individual visibility.

An experiment was carried out using various levels of background luminance and visual distance. The visual acuity of subjects in two age groups (Young and Aged) was measured by using Landolt's eyechart (luminance contrast : 0.93). The Aged subjects' vision was corrected by two kinds of spectacles: ones for myopia/presbyopia.

Under conditions providing sufficient visual acuity, the subjects' order of individual visual acuity was unchanged. Therefore, MVA can be used as an index for the visual ability of the individual. Regardless of corrected conditions, the individual visual acuity reaches the maximum level under 800cd/m² and the corrected position. The results of the eyesight test can be used as a substitution for MVA.

Visual acuity is changing under environmental conditions, and a degree of the changes varies with age, corrected conditions, and differences in visual acuity. Under the corrected position, the relationship between background luminance and VAR is constant regardless of age group, corrected conditions and differences of visual acuity. The relationship between visual distance and VAR differs by age and corrected conditions. However, in the neighborhood of the corrected position, the relationship between visual distance and VAR is constant regardless of differences between individual visibility. The concept of VAR is applicable to past studies.

KEYWORDS : visual acuity, luminance, visual distance, Visual acuity Ratio, age, individual differences

1. はじめに

適切に物体や環境を認識することのできる明視環境設計を行うには、「視対象」、「作業者」、そして視対象と作業者を取り囲む「環境」の三つの要因の総合的取り扱いが必要である。

視覚心理生理に関する既往の研究では、主に「視対象」と「環境」の物理特性（特に明視三要素と呼ばれる視対象の大きさ、対比、視野の明るさ）と視認性について種々の知見が得られているが、これらの研究は明視三要素の表現方法によって大きく二つに分けられる。一方は視対象や背景の輝度が階段状に変化することを基本としたものであり、明視三要素の中の「視対象の大きさ」

を見かけの寸法で、「対比」を視対象と背景の輝度対比で表現して視認性との関係を検討する研究^{1)~14)}である。もう一方は視対象の輝度が正弦波状に変化することを基本としており、「視対象の大きさ」を正弦波の周波数で、「対比」をその振幅で表現する研究¹⁵⁾である。我々を取り巻く実空間に存在する視対象や背景の輝度は階段状に変化している場合が多いため、前者の研究成果は実際の明視環境計画に直接利用できるという実用性を有し、これが著者らの立場である。それに対して後者は、ディスプレイ、レンズおよび眼球光学系の光学特性と明視性との関係を検討するには有効な手法であるが、空間計画への適用については未だ検討段階にある¹⁶⁾と考える。

前者に関する既往の知見としては、例えば視認閾値と明視三要素の関係について1947年に Moon & Spencer¹⁾は視認閾値におけ

本論文の一部は、平成11年度照明学会全国大会で井上容子が、また平成12年度電気関係学会関西支部連合大会で秋月有紀が講演した。

る輝度対比と順応輝度の関係、および視対象の大きさと順応輝度の関係を示している。しかしこれは明視三要素の内の二者の関係を限られた条件下で示したものにすぎないものであった。Moon & Spencer に対して中根・伊藤らの研究²³⁾は、ランドルト環視標を用いた広範囲な条件において、視認閾値における明視三要素の相互関係について明確にしている。中根らの結果は、定常状態における視認能力を示したものであるが、実空間では環境や作業状況が非定常で作業者の順応状態が変動することが多いため、実用設計には不十分なものである。そこで井上^{4)・6)}は視認閾値実験によって明視三要素の関係に対する順応の影響について検討を行った。この時、視対象の物理量を各注視点毎の実刺激量として捉える「実効輝度」という新しい概念を導入し、輝度対比の視認閾への影響は大きさの影響に置換できることを示した上で、検討変数の増加に合理的に対応できることを提案している。

眼科学の分野においても多くの研究が行われており、視力（識別できるランドルト環の最小切れ目幅）と順応輝度の関係については大塚⁷⁾、早川⁸⁾ら、池田⁹⁾が、視力と対比の関係については大塚・本多¹⁰⁾らが検討している。

このように視認閾値や視力と「視対象」及び「環境」との関係については、実に多様な研究成果が示されている。しかしそれらの大半は特定の視認能力を持つ人間（主に高い視認能力を持つ若齢者）の反応を見たものである。

これに対して Blackwell ら¹¹⁾は23歳から68歳までの幅広い年齢の被験者156人について視認閾値実験を行い、年齢が高くなるほど同一背景輝度での対比閾値が大きくなることを示した。しかしいずれの結果も各年代毎の数十人の被験者の平均値を示すに留まり、同一年齢であっても個人により対比閾値が異なることについては言及していない。そこで井上は対比閾値の個人差について左右眼の平均視力を用いて検討し¹²⁾、平均視力が0.8以上の場合は対比閾値への視力の影響が無視できることを確認した。しかし視力の低い場合の検討はしていない。

長南^{13)・14)}は加齢による調節力の減退に伴う視力低下に着目し、視距離と視力の関係について両眼視力1.0以上に矯正した20代から60代の被験者を用いた検討をしている。しかし各年代毎の数人の被験者の結果を平均しており、個人の視認能力と「環境」条件との関係については言及していない。

「作業者」要因の主要素である作業者の視認能力は個人によって異なるため、人によって適切な明視環境条件も異なることは周知のことである。しかし個人の視認能力と明視環境条件の対応がこれまで十分に取られていなかったため、例えば今後ますます高齢化が進む現在においても、一般に視認能力が低いといわれている高齢者に対する明視環境設計法の確立や法的整備¹⁷⁾が未だ不十分なものとなっている。

本研究は視覚的個人差に配慮した明視環境計画に対する資料提供を最終目標としており、明視性に大きな影響を及ぼす明視三要素に加えて個人の視認能力を変数として、それらと明視性との関係を明らかにし加齢等で生じる視覚的個人差の合理的取り扱い方法を考究するものである。本研究では、明視三要素を視対象の見かけの大きさ、視対象と背景の輝度対比、および背景輝度で取り扱い、視力を個人の視認能力の指標としている。

本報告では、まず「環境」条件と個人の視力の関係について背景輝度と視距離を変数として検討した上で、個人の視認能力の指標とする最大視力について言及している。次いで、最大視力に対する視力比を定義し、この視力比の概念を用いることで、背景輝

度や視距離の視力への影響に対して、個人差に配慮した合理的かつ簡便な取り扱いが可能であることを示している。なお、実効輝度に関する研究^{4)・6)}によって、輝度対比の影響は視対象や背景の輝度の絶対値には関係なく大きさの影響に置換できることが明らかにされている。従って、輝度対比の影響については実効輝度の概念を適用することで対応できることから、本論文では輝度対比を変数として取り扱っていない。

2. 本研究で用いる視力

2.1 視力の定義

本研究で取り扱う視力を以下のように定義する。

- (1) 日常使用している矯正状態での視力とする
- (2) 両眼視力とする
- (3) 視力測定にはランドルト環視標を用いる

本研究は、明視環境設計において個人の視力を指標に加えた評価法を提案することを目的としているため、一般的な矯正状態での視力が対象であり、眼科生理学で常套的に用いられる1.0以上の矯正を施した被験者だけで構成された検討では不十分である。眼科診療の現場では、正しく矯正されているのは矯正が必要な者全体の約35%にすぎないといわれており¹⁸⁾、その時の矯正視力は0.7~1.0と健常視力とされている1.0に達していない¹⁹⁾ことが示されている。本研究では矯正状態の違いは視認能力の個人差を決定する要因の一つと考え、日常の矯正状態での視力（生活視力）を用いる。

既往の視認閾値実験では片眼視による被験が一般的であり、両眼視による視力や輝度差弁別能力が片眼視の場合と等しいかあるいは2倍程度まで良くなることが確認されている^{19)・20)}。日常生活においては視対象物を両眼視で観察しているので、本研究では両眼視力を用いることとする。

視力の検査方法により視力値が異なる¹⁹⁾が、本研究では視力測定にランドルト環視標を用いる。これは1909年に第11回万国眼科学会において定義されたもので、我が国の一般的な視力測定用視標である。

なお既往の研究では視力の性別差が殆どなく^{19)・21)}、また、日本男子の5%に見られる赤緑異常者の視力は健常視力者と殆ど等しい¹⁹⁾とされていることから、本研究では性別や色覚異常については特に言及しない。

視力は眼の屈折状態とも関連が強い²²⁾。裸眼視力においては、遠視は正視に対して視力が高く、近視は低くなり、角膜の湾曲不等によって生じる乱視は近視を併発することが多い。また、グレア源によって眼球内散乱光が生じて視力が低下するが、眼球内散乱光は加齢に伴い増加し²¹⁾、それに起因する視力低下も著しい。以上より、屈折状態や散乱特性は、最終的には視力に帰着するところが大きいものと考え、視認能力の指標として視力が有用であると考ええる。

2.2 視力の測定位置

本研究では視線に対して垂直方向に視力表を提示して測定する。視力には測定する視距離の違いによって、視距離500cmで測定する遠距離視力²³⁾（別名通常視力）、視距離70~100cmで測定する中距離視力²⁴⁾、30cmで測定する近距離視力²⁵⁾、これ以上近づくとピンポイントが合わなくなって見にくくなる距離（近点距離）で測定する近点視力²⁵⁾の4種類に分類されている。これらの視力は目的に応じて使い分けられている²⁶⁾。本研究は実用的な明視環境設計資料を作成することを目的としているので、実験では近距離（15.6cm）

から遠距離 (500cm) までの幅広い視距離について視力の検討を行う。また、低視力者から高視力者までの幅広い視力についての検討を目的としているため、若齢者 (高視力者) と高齢者 (主に低視力者) を被験者とする。高齢者は目の調節力が低下しておりピントの合う視距離に限られているため、近点距離が個人によって異なり、実生活では眼鏡 (例えば老眼鏡) を変えたり適当な視距離に頭を動かしたりして柔軟に対応している。従って高齢者は視距離を固定すると実生活の視力 (生活視力) より低い視力となる可能性があるため、各個人の近点距離も視力測定時の条件に加えている。

なお本研究では以下の手順で測定した視距離を近点距離とした。10ポイントの明朝体で記載した文書視標 (背景反射率87%, 文字と背景の輝度対比0.93) を被験者の視線方向が視標に対して直角になるように設置する。被験者は測定環境 (拡散照明光下で視標背景輝度220cd/m², 視標面照度800 lx) に10分以上順応し、その後、視線方向を保ったままで自由に視距離を変えて、文字がぶれずに見える最短距離を申告する。その状態での視標と眼球先端部 (最も顔から突き出している位置) との距離を人体寸法計測器を用いて測定し、これを近点距離とした。

2.3 視力値の算出方法

視力の算出には推定法を用い⁹⁾²⁷⁾, 同じ大きさのランドルト環毎に偶然正答した確率を除いた真の正答率を求め、真の正答率80%に対応する視力を検討に使用する。

真の正答率 P と見かけの正答率 P' との関係を図1に示す。被験者がある方向のランドルト環の切れ目方向を偶然に答える確率は $1/N$ (N =ランドルト環の切れ目方向数) であるから、全正答率を1とすると $(1-P)/N$ がそれぞれの方向における偶然の正答率となる。これを P について解くと式(1)となる。

$$P = (NP' - 1) / (N - 1) \dots\dots\dots(1)$$
 ランドルト環の各大きさ毎の真の正答率と、その時の視力値 (ランドルト環の切れ目幅 (分) の逆数) の関係を図に表わし、それを基に被験者の視力を決定する。この場合、採用する真の正答率

図1 視力測定における真の正答率の算出方法
Fig. 1 The calculating method of the real percentage of correct answers under measuring visual acuity.

図2 5種類の真の正答率毎の視力と環境条件の関係 (被験者A)
Fig. 2 The relationship between visual acuity and environmental conditions per the real percentage of correct answers (Subject A).

の値によって視力値は大きく異なる。図2-1は、真の正答率が0%から100%まで変化させて、視標背景輝度と視力の関係を示したものである (後述の被験者Aの近点距離における結果)。真の正答率が異なると視力の絶対値は当然変わるが、真の正答率50%以上では視標背景輝度と視力の関係自体は殆ど変わらない。図2-2に示すように、視距離の場合も同様である。すなわち視力と環境条件の関係に対して採用する正答率の値は真の正答率50%以上では殆ど影響しないと言える。既往の研究の多くは真の正答率50%の視力を用いており²⁾²⁵⁾, 眼科における視力測定では正答率67%を用いている²⁵⁾が、本研究では安全側をとり真の正答率80%を採用する。

3. 実験

3.1 実験室環境条件

実験室の概要を図3に示す。天井以外の壁面の内装は全て無光沢の白 (反射率82%) である。天井には5000K, 40Wの三波長域発光形 Hf 蛍光ランプを60灯設置しており、乳白パネルを通して拡散させ、室内を均一に照明している。視標は、被験者の目と視標の中心が同じ高さになるようにして、実験室壁面に提示する。視力表視標の背景部分と壁面の反射率はほぼ等しく、また被験者の視野の輝度分布も一様である。被験者に呈示する環境条件を表1に示す。視標背景輝度は0.83~1400cd/m²の範囲で7段階設定し、視距離は被験者毎に設定する個人の近点距離 (L) を含め、15.6~500cmの範囲で6段階設定する。

3.2 ランドルト環視力表

被験者に呈示する視力表は、ランドルト環13行×6列の配列を基本として作成し、全長が視距離に対して視角15度以内となるように作成した。ランドルト環を上から大きい順に配置し、横方向には同じ大きさのものを並べている。環の切れ目方向は縦横斜め45度の八方向に設定し、配置はランダムである。切れ目幅の実寸法は0.11mm~16.0mmである。背景の反射率は87%, ランドルト環と背景の輝度対比は0.93であり、この輝度対比は視力表の規定条件 (輝度対比0.9以上) に十分達している²⁶⁾。

図3 実験室概要
Fig. 3 The experimental equipment.

表1 被験者に呈示する環境条件
Table 1 The conditions of experimental environment.

視標背景輝度 (cd/m ²) ()内は数字の視標面照度 (lx)	0.83(3), 8.3(30), 56(200), 220(800), 420(1500), 830(3000), 1400(5000)
視距離 (cm)	15.6, 近点距離 (L), 62.5, 125, 250, 500 近点距離 (L)は視標背景輝度220cd/m ² で10ポイントの文書を用いて測定

3.3 被験者

著者らはこれまで明視性に関する実験を行ってきた結果、211名の近点視力（輝度対比0.93の無彩色ランドルト環を用いて視標背景輝度220cd/m²で測定された視力であり、高齢者は各人の近点距離で、若齢者は視距離の影響を受けない30～75cmの範囲で測定した）と162人の近点距離（測定方法は前述2.2参照）を得ている。年齢と近点視力および近点距離の関係を図4に示す。年齢と近点視力の関係（図4-1）では、若齢者の80%レンジは視力1.4～2.2と高視力に集中している。それに対して高齢者は80%レンジで視力0.43～1.2と低い視力に分布している。年齢と近点距離の関係（図4-2）では、調節力の十分ある若齢者の80%レンジは8.5～15cmと短い、高齢者は調節力が衰えるため80%レンジも26～45cmと長くなる。すなわち年齢が異なると視力や視距離が大きく異なるといえる。

本実験では視認能力特に視力の異なる被験者を対象に検討するため、被験者を若齢者と高齢者から各4名選び、さらに高齢者は若齢者に近い高視力のもの2名と低視力のもの2名とした。被験者の概要を表2に示す。若齢者では、被験者Dの近視矯正が不十分である。高齢者では、被験者G、Hの視力矯正が不十分であり、完全矯正を行えば視力は更に向上する。また被験者Hは先天性色弱である。被験者H以外は眼の疾病がない、実験は日常の矯正状態（生活視力）で行うが、いずれの被験者も日常の矯正状態に対して不満はない。

高齢者は加齢により調節力が低下しており、実生活では2種類の眼鏡（遠距離用と近距離用）を使用しているため、実験ではそれぞれの眼鏡について視力を測定する。なお本報告では、遠距離用眼鏡では視距離500cmを、近距離用眼鏡では近点距離（L）をそ

図4 年齢と近点視力および近点距離の関係
Fig.4 The relationship between age and visual acuity as well as visual distance at near point.

表2 被験者の属性
Table 2 The conditions of Subjects.

年齢層	被験者名	性別	年齢	色覚	矯正状態	完全矯正かどうか	自己申告による近点距離 (cm)
若年齢	A	女	27	正常	コンタクト	○	27
	B	女	22	正常	コンタクト	○	17
	C	女	23	正常	裸眼	○	24
	D	女	22	正常	裸眼	×	31
高齢者	E	女	67	正常	眼鏡(遠・近)	○	62
	F	女	71	正常	眼鏡(遠・近)	○	45
	G	男	75	正常	眼鏡(遠・近)	×	26
	H	男	73	先天性色弱	眼鏡(遠・近)	×	30

れぞれの眼鏡における適正視距離と称する。

3.4 実験手順

実験は、被験者を各視標背景輝度（表1）に設定された照明環境に10分間順応させた後、それぞれの視距離毎に視力を測定する。視力測定は、6列に配置された同じ大きさのランドルト環の切れ目方向が全て正しく判定できる大きさから全て判定できなくなる大きさまで行う。

全ての視標背景輝度条件について視力測定を行う視距離は、若齢者は近点距離（L）と500cm、高齢者は近距離用眼鏡では近点距離（L）、遠距離用眼鏡では500cmである。なお高齢者のこれら二種類の状態（眼鏡の適正視距離にある状態）では、ピントが合うため最も明瞭に物が見える。

視標背景輝度が0.83, 220, 830cd/m²の場合は15.6cmから500cmまでの全視距離条件について測定する。高齢者で二種類の眼鏡について測定を行う条件では、まず被験者に遠距離用眼鏡を着用させて視力測定を行い、次に近距離用眼鏡を着用させて1分間安定させた後に、近距離用眼鏡での視力測定を行う。

実験は全て繰り返し3回行ったが、図5に示すように3回の測定結果は安定したものである。全体の約7割で、3回の測定結果の平均値に対する各測定値の差の割合が±10%以内に納まっている。よって、以下に示す視力測定結果は全て3回の幾何平均値を用いる。なおデータのバラツキが小さいため、幾何平均と算術平均の値はほぼ等しい。

4. 結果

4.1 環境条件の変化における視力の変動

(1) 視標背景輝度の影響

図6に、視距離500cmと近点距離（L）の場合における視標背景輝度と視力の関係を示す。図中のプロットは被験者毎の三回の測定結果の平均値である。また図中の線は各測定結果の回帰線であり、輝度の増加に伴って視力は向上し、やがて飽和し、グレアを感じるほど輝度が高くなると逆に低下するという既往の研究²⁾による知見を踏まえて引いたものである。なお今回作成した視力表は最小切れ目幅が0.11mm（視距離30cmで視力0.81）であるため、近距離において高い視力が測定できない。このため若齢者は近点距離（L）では、視標背景輝度8.3cd/m²までしか視力測定ができず欠損値となっているが、欠損範囲についても全測定結果から回帰線を想定して外挿した（図6-2）。

全体を通して視標背景輝度が高くなるほど視力は増加する傾向が見られるが、若齢者の結果（図6-1、図6-2）と、眼鏡の適正視距離での高齢者の結果（図6-3、図6-6）では、220cd/m²付近から輝度の増加による視力向上の勾配が緩くなり、それ以上

図5 3回繰り返した同一条件の結果（視距離500cm）
Fig.5 The results repeated three times under the same conditions (distance=500cm).

視標背景輝度を上げて視力は飽和し変化が見られなかったり、逆にグレアの影響を受けて視力が低下するという傾向が明瞭に確認される。

高齢者の場合、眼鏡の適正視距離でなければ（図6-4、図6-5）、同じ視標背景輝度であっても適正視距離での視力より低くなっており、適正視距離では視力の飽和が見られた背景輝度220 cd/m^2 以上においても、視力は直線的に増加している。なお同じ年齢層であっても被験者によって視力の絶対値や視標背景輝度に対する視力の変化量は異なっており、視力の変化量は高視力者ほど大きいことがわかる。また図6-1～図6-2においては、各図毎の被験者の視力の高低順序は、視標背景輝度が変化しても一定である。若齢被験者Dは視距離が500cmでは若齢者の中で最も視力が低いが、近点距離になると上から二番目に視力が高い者になる。これは被験者Dの近視矯正が不十分だったため、視距離が500cmの時に視力が低下したことによると考えられる。高齢者では眼鏡の適正視距離の場合とそれ以外の場合で、被験者Gと被験者Hの視力の高低順序が逆転している。これは両被験者が完全矯正していなかったことが影響していると考えられる。

(2) 視距離の影響

視力に対する視距離の影響は、焦点調節力と密接に関連している¹³⁾¹⁴⁾。図7に視標背景輝度（0.83, 220, 830 cd/m^2 ）の場合における視距離と視力の関係を示す。図中のプロットは被験者を示している。

若齢者の場合は、被験者D以外の3名では、視距離が変化しても視力は変わらず、調節力が充分あることが示されている（図7-1～図7-3）。被験者Dは日常生活に支障のないように近視矯正を行っていたが、完全矯正はなされていないため、視距離が近くなるほど視力が高くなり、近点距離で最も視力が高くなる。

調節力の低下する高齢者の結果に対して、図中の回帰線は視距離が眼鏡の適正視距離の時に視力が最大となり、それより視距離が遠ざかるほど視力が低下するとして引いている。高齢者は遠距離用眼鏡（図7-4～図7-6）では視距離500cmで、近距離用眼鏡（図7-7～図7-9）では近点距離（ L ）で視力が最大となり（いずれも眼鏡の適正視距離にある状態で視力が最大となる）、その位

置から離れるほど視力が低下するという傾向が明瞭に確認される。この原因として加齢による調節力の低下が考えられる。

なお高齢者では、被験者によって視距離に対する視力の変化量は異なり、高視力者ほど変化が大きいことがわかる。

若齢者4名の被験者の視力の高低順序は、近点距離付近と500cm付近で異なるが、これは被験者Dの近視矯正が不十分だったことによる。高齢者では眼鏡の適正視距離の場合とそれ以外の場合で、被験者Gと被験者Hの視力の高低順序が逆転しているが、これは両被験者が完全矯正していなかったことが影響していると考えられる。

4.2 個人の最大視力

高齢者での眼鏡の適正視距離や若齢者の近点距離といった、完全矯正を行っていない被験者も十分な視力が得られる条件での被験者間の視力の高低順序は一定であることを、図6と図7では示した。すなわち、視力の個人差に配慮した視環境評価法を構築するにあたって、各個人の視認能力の違いを表す指標として、個人の最大視力を用いることが可能であると考えられる。

(1) 最大視力が得られる条件

最大視力は各人の視力の視標として有効であると考えられるが、図6や図7に見られるように被験者によって最大視力となる背景輝度や視距離が異なる。しかし視環境計画に個人の最大視力を指標として導入するには、それを測定する共通の環境条件を把握しておく必要がある。そこで個人の最大視力が得られる視標背景輝度と視距離について検討する。

図8は個人の最大視力が得られる視標背景輝度と視距離を示したものである。図の水平面軸上にある環境条件は視標背景輝度と視距離であり、垂直軸は各条件で最大視力が得られた被験者数である。なお各条件での視力は、図6と図7に示した各人の測定結果の回帰線より読み取ったものを用いている。

図より若齢者全員が最大視力となる条件は800 cd/m^2 以上かつ近点距離（ L ）以下である。これは被験者Dの近視矯正が不十分であったため、近点距離よりも遠くの視距離になると視力が低下することに起因する。なお矯正状態が十分である若齢者3名が最大視力となる条件は、15.6～500cmの範囲内であれば視距離に関わら

図6 視標背景輝度と視力の関係
Fig. 6 The relationship between background luminance and visual acuity.

図7 視距離と視力の関係

Fig. 7 The relationship between visual distance and visual acuity.

図8 個人の最大視力が得られる視標背景輝度と視距離の条件

Fig. 8 The conditions of background luminance and visual distance to get the maximum level of individual visual acuity.

ず視標背景輝度800cd/m²以上であればよいとみなせる。

高齢者は遠距離用眼鏡では500cmで700~900cd/m²の条件、近距離用眼鏡では近点距離で300~1000cd/m²の条件で全員が最大視力となる。この2つの矯正状態で共通する、最大視力が得られる環境条件は、眼鏡の適正視距離で700~900cd/m²となる。

以上より、矯正状態が十分であるかどうかに関わらず、若齢者と高齢者を合わせた被験者全員が個人の最大視力となる条件は、眼鏡の適正視距離（若齢者は近点距離）で視標背景輝度800~900cd/m²であることを示した。

なお今回的高齢者は、全員が遠距離用と近距離用の2種類の眼鏡を使用している。それぞれの眼鏡の適正視距離での視力は、図9に示すように、いずれの視標背景輝度においてもほぼ等しい値をとる。従って、高齢者の場合、日常生活において本人が適当と

図9 同一輝度条件下で各眼鏡の適正視距離で得られた視力の比較

Fig. 9 The comparison between the visual acuity from 500cm at spectacles for myopia and the one from individual corrected distance at senile spectacles under the same luminance conditions.

表3 視力検査の視力と最大視力との比較

Table 3 The comparison between visual acuity by the luminance level of eye test and the maximum level of individual visual acuity.

若齢被験者	A	B	C	D
視距離500cm	0.92	0.97	0.90	0.51
近点距離 L	0.92	0.97	0.90	0.90
高齢被験者	E	F	G	H
遠距離用眼鏡・500cm	1	0.95	0.91	1
近距離用眼鏡・ L	1	1	1	0.97

表中の数字は $\frac{\text{視力検査の視力（眼鏡の適正視距離・200cd/m}^2\text{）}}{\text{個人の最大の視力（眼鏡の適正視距離・800cd/m}^2\text{）}}$ を示す

する矯正状態であれば、完全矯正ではなくとも2種類の眼鏡の適正視距離での視力はほぼ等しいと考えられる。

(2) 視力検査による視力と最大視力

4.2(1)より、被験者全員が個人の最大視力となる条件は、眼鏡の適正視距離（若齢者は近点距離）で視標背景輝度800~900cd/m²であったが、視標背景輝度200cd/m²が通常の視力検査での推奨照明条件である²⁸⁾。

そこで眼鏡の適正視距離において、視標背景輝度800cd/m²と200cd/m²で得られる視力を比較したものが表3である。用いた視力値は図6、図7に示した回帰線からの読みとり値である。表より800cd/m²と200cd/m²の視力の比率が1（両者が等しい）となる結果は、高齢者では半数以上を占めている。また近視矯正が不十分であった被験者Dの視距離500cmの結果を除くと、比率が1以外の結果のいずれも0.9以上の値を示している。従って、通常の視力検査で得られる視力値を最大視力と見なしても概ね問題ないものと考えられる。

なお、完全矯正していない被験者も近点距離の場合は最大視力に近い値を得られることより、通常視力検査で用いられる500cm視力より、近点視力を最大視力に用いる方が適しているといえる。

4.3 視力比と環境条件の関係

(1) 視力比の定義

図6、図7において示したように、背景輝度や視距離という環境条件の変化による視力の変化量は、個人の最大視力によって異なり、最大視力の高い被験者ほど環境が変わることによる視力の変化が著しい。そこで、環境の変化に対する視力の変化を、最大視力に対する割合で把握してみる。検討にあたっては、各環境条件での視力と個人の最大視力との比を視力比と定義し（式(2)）、この視力比と環境条件との関係を調べる。個人の最大視力は眼鏡の矯正視距離（若齢者は近点距離）かつ800~900cd/m²で測定した値であり、ここでは図6、図7に示した各人の結果の回帰曲線からの読みとり値を用いる。

$$\text{視力比} = \frac{\text{（各環境条件での視力）}}{\text{（個人の最大視力）}} \dots\dots\dots (2)$$

(2) 視力比と視標背景輝度

図10に視力比と視標背景輝度との関係を示す。図中のプロットは図6に示した各人の測定結果から視力比を求めた結果であり、図中の曲線は、図6に示した回帰曲線から視力比を求めたものである。

図より、若齢者の近点距離での結果および高齢者の眼鏡の適正視距離での結果は（図10-2、図10-3、図10-6）、個人差が見られなくなり、視力比と視標背景輝度の関係は被験者に関わらず一定であることが示されている。矯正状態が不十分な被験者Dや被験者G、先天性色弱である被験者Hも、他の被験者と同様の傾向を示しており、正常視以外であっても眼鏡の適正視距離（若齢者は近点距離）では個人の最大視力に対する視標背景輝度と視力比の関係は他の被験者と同じであると考えられる。なおこれらの状態で得られる視力比と視標背景輝度の関係は、ほぼ等しい値をとることより（図11）、視力比と視標背景輝度の関係は年齢や矯正状態に関わらず等しいといえ、個人の視力の違いや属性によらない取り扱いが可能であると考えられる。

若齢者の500cmでの結果および高齢者の適正視距離ではない場合の結果は（図10-1、図10-4、図10-5）、視力比に変換しても

図10 視標背景輝度と視力比の関係
Fig.10 The relationship between background luminance and the visual acuity ratio to the maximum level of individual visual acuity.

図11 眼鏡の矯正視距離における背景輝度と視力比の関係

Fig.11 The relationship between background luminance and the visual acuity ratio under the corrected distance.

やはり、視力比と視標背景輝度の関係に個人差がみられる。若齢者の視距離500cmでの結果は、被験者Dの近視矯正が不十分であったので、その結果、他の3名と被験者Dの結果が異なると考えられる。高齢被験者の結果は(図10-4, 図10-5), 呈示している視距離が、それぞれの眼鏡の適正視距離から極端に遠い位置である上に、近点距離が個人によって異なるので眼鏡の適正視距離からの距離のズレも個人によって異なることが起因していると考えられる。しかし適正視距離ではない何れの結果も、回帰曲線は平行な形をとっており、その視距離条件で得られる視力の最大値に対する視力の比率で換算すると(図12), 個人差が解消される。なおその場合の視力比と視標背景輝度の関係が示す曲線は、眼鏡の適正視距離での結果(図10-2, 図10-3, 図10-6, および図11)と比較すると、勾配が急になり、同じ輝度でも視力比は低い値をとることが示されている。

(3) 視力比と視距離

図7の結果に対して、視力比の概念を適用して視力比と視距離と関係を示したものが図13である。尚、近点距離は被験者によって異なることから、横軸を眼鏡の適正視距離(高齢者遠距離用眼鏡では500cm, 若齢者および高齢者近距離用眼鏡では近点距離)に対する各視距離の比で示している。

視力の絶対値でみると(図7)個人差の大きい視力と視距離の関係も、視力比に換算すると、個人差が縮小される傾向が見られる。しかしそれは視力比と視標背景輝度の関係で見られたほど、個人差を払拭するものではない。

若齢者(図13-1, 図13-2, 図13-3)では近視矯正が不適當であった被験者Dを除く他3名については、視力比はほぼ等しい。なお近点視力近辺の視距離条件では(視距離比0.5~2.0), 被験者Dを含めた若齢者の視力比はほぼ等しくなる。

高齢者の遠距離用眼鏡の場合(図13-4, 図13-5, 図13-6), 視距離比0.2(100cm)以上であれば、4名の視力比と視距離の関係は等しいと見させるが、それより視距離が短くなれば個人差が見られる。これは眼鏡の適正視距離(500cm)から極端に遠のくため、調節力の個人差が影響したことによると考えられる。

高齢者の近距離用眼鏡の場合(図13-7, 図13-8, 図13-9), 近点視力近辺の視距離条件(視距離比0.8~2)であれば、被験者Hを除く3名について、視力比と視距離の関係はほぼ等しい値をとり、それより視距離が遠くなると個人差が見られるようになる。これもやはり眼鏡の適正視距離(近点距離)から極端に遠のくため、調節力の個人差が影響したことによる。なお被験者Hは先天性色弱で視機能が低下しているため、環境の変化に対する適応能力が低く、そのため最大視力に対する視力比が他の被験者より高い値を示していたので、視距離の変化による視力比の変動がより大きく見られた近距離用眼鏡の結果で他の3名と傾向が異なると考えられる。

5. 既往の研究結果と視力比

個人の最大視力が得られる環境条件を把握し、個人の最大視力に対する比率を用いて環境条件と視認能力の関係を把握する手法(視力比の概念)は、個人差を払拭する手法として利用できることを示してきた。ここでは、視力比の概念が既往の研究結果についても適用できるかどうか検討し、本報告の実験結果と比較する。

5.1 視標背景輝度と視力比

本報告で提案している視力比の概念において、視標背景輝度と視力比の関係が既往の研究結果にも適用できるか、照明学会委員会報告書の「新時代に適合する照明環境の要件に関する調査研究」(文献1)²⁷⁾の結果を用いて検討する。文献1は30cm視力が1.0以上となるように完全矯正した被験者43名(20代~80代)の年齢と視力の関係を、順応輝度0.33~478cd/m²の範囲で検討したものである。この順応輝度は視標背景輝度のことである。

図14-1は文献1の結果を元に、筆者らが順応輝度毎の視力を年代毎に平均して図示したものである。図より年代が高くなるに連れて同じ視標背景輝度でも視力が低くなっており、輝度変化による視力の変化量は、若い年代ほど大きいことが示されている。

この図の回帰曲線の結果を、478cd/m²の視力値に対する比率(視力比)に変換したものが図14-2である。図より文献1で見られた年代の違いはなくなり、視標背景輝度との関係が一元化されることが示されている。すなわち年代の違いにより視力の絶対値には

図12 適正視距離以外での視力の最大値を用いた、視標背景輝度と視力比の関係

Fig.12 The relationship between background luminance and the visual acuity ratio to the maximum level of individual visual acuity from incorrect distance.

図13 視距離比と視力比の関係

Fig.13 The relationship between visual distance ratio to corrected distance and the visual acuity ratio to the maximum level of individual visual acuity.

図14 文献1（照明学会委員会報告書）に対する視力比の適用

Fig.14 The application of the visual acuity ratio to the reference No.1.

図15 文献2（長南ら）に対する視力比の適用

Fig.15 The application of the visual acuity ratio to the reference No.2.

大きな差が見られるものも、視力比の概念を適用して最大視力に対する比率に変換するとその差は払拭されるという本報告での知見が文献1でも確認された。なお図14-2には本報告の結果(図11の全ての結果を平均したもの)を付記して比較しているが、本報告の方が同じ背景輝度でも視力比の値が一割程度大きくなっている。これは文献1で被験者の視距離として設定されていた30cmが、最大視力を得られる条件ではなかったことに起因すると考えられる。

5.2 視距離と視力比

本報告で提案している視力比の概念において、視距離と視力比の関係が既往の研究結果にも適用できるか、長南氏の結果(文献2)¹¹⁾¹²⁾の結果を用いて検討する。これは視標背景輝度300cd/m²の条件で、500cm視力が1.0以上となるように完全矯正した被験者の年齢毎の結果を示したものであり、視距離を30~500cmに変化させ

て検討している。

図15-1は文献2の結果である。なお図の回帰線は実験結果を元に引いたものである。どの年齢の被験者も視距離500cmにおいて完全矯正しているため、500cmの視力値はほぼ等しいが、視距離が500cmから遠のくほど視力は低下し、また年齢が高くなるほど視距離の変動に対する視力低下が顕著になることが示されている。

図15-1の結果に対して、視距離500cmでの視力値に対する比率(視力比)に変換したものが図15-2である。なお横軸は、視距離を500cmに対する視距離比に換算しており、本実験の結果(300cd/m²における高齢者遠距離用眼鏡の4名の平均)を比較のため付記している。視力比で表示しても年齢による違いは殆ど解消されず、縦軸を対数表示したため視距離が短く視力が低い場合に年代によ

る差が拡大されている。しかし、視距離比0.20~1.0の範囲については年代による差が小さくほぼ一致していると思わせることについては、本実験結果と一致している。

6. まとめ

本報では、個人の最大視力が視認能力の個人差を示す指標となることを示した上で、各条件下で得られる視力の最大視力に対する比を視力比と定義し、視標背景輝度や視距離の個人差が視力比の導入によって合理的かつ簡便に取り扱えることの可能性について検討した。得られた主な知見は以下の通りである。

- (1) 環境条件（視標背景輝度と視距離）の変化に伴って視力は変動し、その変動量は年齢層や矯正状態、個人の視認能力の違いによって異なる。
- (2) 高齢者での眼鏡に対する適正視距離や若齢者の近点距離といった、完全矯正を行っていない被験者も十分な視力が得られる条件での被験者間の視力の高低順序は一定であるので、各個人の視認能力の違いを表す指標として、個人の最大視力、あるいは一定の条件下で測定した視力を用いることが可能である。
- (3) 矯正状態が十分であるかどうかに関わらず個人の最大視力が得られる環境条件は、眼鏡の適正視距離（若齢者は近点距離）かつ視標背景輝度800~900cd/m²である。
- (4) 通常の視力検査の値（視標背景輝度200cd/m²、視標面照度800 lx）も個人の最大視力と見なすことが可能である。
- (5) 眼鏡の適正視距離では、視標背景輝度の変化に伴う視力の変動を個人の最大視力に対する比率（視力比）に換算すると、輝度と視力比の関係は年齢や矯正状態に関わらず一定となり、個人の視力の違いや属性によらない取り扱いが可能になる。
- (6) 眼鏡の適正視距離でない状態でも、その視距離条件で得られる視力の最大値に対する視力の比率で換算すると、視標背景輝度に対する個人差が解消される。
- (7) 視距離と視力比の関係は、年齢層（調節力が十分あるかどうか）によって異なる。本実験結果において、若齢者および高齢者近距離用眼鏡では近点距離に対する視距離比が0.8~2.0、高齢者遠距離用眼鏡では500cmに対する視距離比が0.2（100cm）以上であれば、視力比と視距離の関係の個人差は無視して差し支えない。
- (8) 本報告で提案した個人の最大視力に対する視力比の概念は、既往の研究結果に対しても有効である。

当時卒論として本研究に携わった田中恵氏と和田陽子氏に感謝申し上げます。なお本研究の一部は第8回照明学会研究・教育助成金（奨励研究）および平成12年度科学研究費補助金基盤研究B(2)一般12450237（代表井上容子）によって行われました。

参考文献

- (1) P.Moon & D.E.Spencer : Lighting Design, Addison Wesley Co., p.276 (1947).
- (2) 中根芳一、伊藤克三：明視照明のための標準等視力曲線に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集、No.229, pp.101-109 (1975).
- (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, pp.111-120 (1975).
- (4) 伊藤克三、野口太郎、井上容子：実効輝度による視認問題の統一的解明、照学誌、72-6, pp.324-331 (1988).
- (5) 井上容子、伊藤克三：順応過渡時の視認能力と実効率の関係

実効輝度を用いた視認能力の動的評価法（その2）、日本建築学会論文報告集、No.474, pp.1-6 (1997).

- (6) 井上容子、伊藤克三：均一輝度視野における視認能力の動的評価図実効輝度を用いた視認能力の動的評価法（その3）、日本建築学会論文報告集、No.501, pp.17-21 (1997).
- (7) 大塚任：試視力表の照明に関する研究、日本眼科学会雑誌、42-6, pp.890-904 (1938).
- (8) 早川宏学：輝度と瞳孔の大きさ及び視力における研究、日本眼科学会雑誌、42-7, pp.1356-1372 (1938).
- (9) 池田紘一、野田貢次、山口昌一郎：均一な背景の下における順応輝度とランドルト環視力、照学誌、64-10, pp.65-71 (1980).
- (10) 大塚任、本多得二：種々なる照度における視力と対比との関係についての研究、日本眼科学会雑誌、44, p.2056 (1940).
- (11) O. Mortenson Blackwell and H. Richard Blackwell : Visual Performance Data of 156 Normal Observers of Varying Ages, J. Illum. Engng. Soc., 1-1, pp.3-13 (1971).
- (12) 井上容子：視認能力における個人差とその取り扱い、シンポジウム「環境生理心理研究における個人差」資料、pp.5-11 (1994).
- (13) 長南常男：運転適性としての中距離視力に関する研究、交通医学、31-3, pp.177-183 (1977).
- (14) 長南常男：試作中距離視力検査器とその使用成績について、交通医学、33-5, pp.303-309 (1979).
- (15) 例えば、F.W. Campbell and R.W. Gubisch : Optical Quality of the Human Eye, J. Physiol., 186, pp.558-578 (1966).
- (16) Hiroyasu Ujike and Ken Sagawa : Aging Effects on Retinal Visual Field, Proceeding of International Workshop on Gerontechnology, pp.63-66 (2001).
- (17) JIS Z9110-1976（照度基準）：日本工業規格。
- (18) 庄司義治：眼科診療の実際、上308, 下9 (1958).
- (19) 大江謙一：日本人の視力、照学誌、47-4, pp.17-25 (1963).
- (20) 井上容子、伊藤克三：机上面作業時の左右眼の視方向ならびに視認性の検討 両眼視による視環境の評価に関する研究（その1）、日本建築学会計画系論文報告集、No.502, pp.15-19 (1997).
- (21) J. J. Vos : Disability Glare A State of The Art Report, CIE Journal, 30-2, pp.39-53 (1984).
- (22) 長南常男：視力、交通医学、29-4, pp.249-252 (1975).
- (23) Luckiesh and Moss : The dependency of visual acuity upon stimulus distance, J. Opt. Soc. Am., 22 (1932).
- (24) 例えば、山地良一：中距離視力と照度に関する研究、日本眼科紀要、25-8, pp.742-747 (1974).
- (25) 平澤英司：照度の近距離視力、近点距離並びに明視領域に及ぼす影響について、日本眼科学会雑誌、41-7, pp.848-857 (1937).
- (26) 所 敬：視力に関する用語、眼科、33, pp.483-484 (1991).
- (27) 照明学会編：高齢化社会における照明の研究調査委員会報告書 (1988).
- (28) JIS Z9110-1976（視力検査表）：日本工業規格。

（受付日2002年2月26日／採録日2002年8月2日）