高齢者の文字の読みやすさと所要照度に関する Visibility Level の観点からの検討

専門会員 田 辺 吉 徳 (松下電器産業株式会社) 正会員 大 竹 史 郎 (松下電器産業株式会社)

Visibility Level Analysis on the Relationship between Readability and Illuminance for Older People

Fellow Member **Yoshinori Tanabe** (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)
and Member **Shiro Otake** (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

ABSTRACT

The recommended illuminance in the Japanese lighting standard (JIS Z 9110) was determined based on Indow and Kawai's experimental study concerning the relationship between illuminance and readability of printed text. As the observers in the experiment were young, the recommended illuminance derived from the experiment cannot be applied directly to older people. To estimate the recommended illuminance for older people, a set of numerical analyses was conducted. We found that the readability scale in the above experimental study correlates with the Visibility Level (VL) defined by CIE publication No.19/21. The luminance difference threshold (ΔL_{min}) derived from the contrast threshold function (C_{th}) of the CIE publication was divided into two parts (ΔL_{af} for foveal adaptation and ΔL_{eq} for veiling luminance), assuming $\Delta L_{min} = \Delta L_{af} + \Delta L_{eq}$. After considering age factors in each part, the luminance difference threshold function ΔL_{min}^* was reconstructed. Applying the ΔL_{min}^* function to the VL analysis, the recommended illuminance for older people was estimated. The result shows that at least about 700 lx of illuminance may be recommended for older people reading 3-mm high printed characters. The visibility level analysis is a useful method for assessing readability considering age-related effects.

KEYWORDS : illuminance, JIS, readability, visibility, aging, crystalline lens

1. はじめに

一般に人間の視覚は、高齢になるほど視力が低下する、グレアを感じやすくなる、明暗順応への反応が遅くなるなど、その機能が低下する^{1)~4)}。したがって、高齢者にはそのような視機能の低下を補えるように工夫された照明環境が望まれる。

工夫の第一として、照明環境を構成する技術要素のなかで最も基本的な量である照度を高くすることが挙げられる。しかし、高齢者に必要とされる照度は、諸説があり今一つはっきりしていない。例えば高齢者が新聞を読む視作業を想定すると、最も広く知られている JIS Z 9110 照度基準⁵⁾の解説によれば 600~1500 [lx] である。この値は同解説に「(JIS 推奨照度 (300~750 [lx]) は青年を対象にしたものであり、) 高齢者に対しては 2 倍又は数倍高くすることが望ましい」と記されているので、前記の推奨照度を 2 倍した値である。ただし、その 2 倍または数倍の具体的論拠は示されていない。

一方、建材試験センターの「住宅性能標準化のための調査研究報告書」⁶⁾によれば、高齢者 (60 歳代) にとって、高さ 2 mm の文字 (新聞の活字より少し小さい) が楽に読める照度は 70 [lx] である。照明学会の報告書「新時代の照明環境研究調査委員会」⁷⁾では、

「文字の見え方について年齢による影響を調べた報告例はきわめて少ない」ことが述べられ、前述の「住宅性能標準化のための調査研究報告書」の一部が参照されているにすぎず、必要照度については明確な結論には至っていない。

これらに対して、柏ら⁸⁾が報告した高齢者の住む住宅の照明に関する調査によると居間の照度の実態は 150~300 [lx] である。さらに高齢者が数百 lx の照明下で新聞等を読んでいる姿を見かけるといふ事実がある。これらの実態調査結果および実状を考慮すると、諸説の 1000 [lx] 以上の照度では社会的なコンセンサスが得られるか疑問が残る。70 [lx] は住宅の居間やオフィスの実態からすれば低いといえる。

このように文字の読みやすさと所要照度に関する研究はなされているものの、実態は上述のとおりであり、照明設計者に混乱が生じている。このため現場に近い観測条件で、実際に高齢者を用いた実験的検討を安易に行なう風潮がある。しかし、そういった手段は、その場での問題解決にはつながるかもしれないが、異なる光環境条件に対しても解を与えるような一般的な知見は得られない。この問題を根本的に解決するには、文字の見え方を定量的に評価でき、かつ加齢による効果を考慮できる解析手法を必要とする。本論文は、その解析手法として Visibility Level⁹⁾ (可視度、

以下、VL と記す)が有望であることを示す。すなわち、VL の観点から JIS の照度基準のもとになった実験を見直し、かつ加齢の因子を考慮することにより高齢者に必要な照度を導くことができたので、その内容を報告する。

2. JIS の照度基準と文字の読みやすさとの関係

JIS Z 9110⁹⁾の照度基準の基礎になっているのは、印東と河合の研究¹⁰⁾であることは解説から明らかである。彼らは二つの実験を行っている。ひとつは、種類、大きさ、コントラストがそれぞれ異なる文字を視標として、ケント紙の15cm平方のところに縦横それぞれ10字ずつ計100字をランダムに配置した刺激表を3種類つくり、照度を変えて2 m離れた位置から被験者に文字の読みやすさを評価させた実験である。いまひとつは、新聞と英和コンサイス辞典から任意に選り出した漢字と同様な刺激表を3種類つくり、同様に照度を変えて30cm離れた位置から被験者に評価させた実験である。被験者は慶應義塾大学の心理学研究室関係者の男性2名、女性2名である。年齢の記載はないが、文脈から25歳前後と考えられるので、本論文では25歳として扱う。

河合と黒沢¹¹⁾は、この実験データの回帰式として、文字の読みやすさ S を(1)式で表示した。

$S = 11 \log E + 0.5C + 9\sqrt{D(A-1)} + 32$ (1)
ただし、S は文字の読みやすさであり、S の値に対して読みやすさのカテゴリーは次のように対応する。

- 100～90 非常に読みやすい
 - 90～70 読みやすい
 - 70～55 だいたい普通に読める
 - 55～40 細かいところまで完全には見えない
 - 40～20 読めるけれど努力を要する
 - 12 読めると読めないとの境目
 - 0 見えると見えないとの境目
- E：照度 [lx]
C：輝度対比 [%] (実験では輝度対比80%の文字を観測)
 $C = [(L_b - L_t) / L_b] \times 100$ (2)
ただし、L_b は背景輝度、L_t は文字輝度である。
D：観測距離 [cm]
A：文字の大きさ [cm]

図1は、文字の大きさを3 mm (一般的な新聞における本文の文字の大きさ)、観測距離を30cm、文字とその背景との輝度対比を80 %として(1)式から求めた、照度と文字の読みやすさとの関係である。

図1 JIS の基準照度と文字の読みやすさ
Fig.1 Relationships between standard illuminance and readability in JIS Z 9110.

図1によると文字の読みやすさの「だいたい普通に読める」照度の下限値は約40 [lx]、上限値は約750 [lx] である。すなわち、同じ読みやすさのカテゴリーであっても40～750 [lx] と幅はかなり広い (倍率では19倍)。JIS Z 9110の推奨照度、例えばオフィスの500～750 [lx] は「だいたい普通に読める」読みやすさとなる照度範囲の高照度部分と一致しており、住宅 (居間) の150～300 [lx] はほぼ中間に一致している。

3. Visibility Level (VL) の定義

VL の概念は、(3)式または(4)式に示すように、見え方を評価しようとしている実際の照明環境における視対象物とその背景との輝度対比 C または輝度差 ΔL と、輝度対比弁別閾 C_{th} または輝度差弁別閾 ΔL_{min} との比をとり、これによって可視度 (見えやすさ) を評価しようとするものである。

$$VL = C / C_{th} \text{(3)}$$

$$VL = \Delta L / \Delta L_{min} \text{(4)}$$

(4)式の導出過程は下記のとおりである。

$$C = \frac{L_b - L_o}{L_b} = \frac{\Delta L}{L_b}$$

$$C_{th} = \frac{L_b - L_{o,th}}{L_b} = \frac{\Delta L_{min}}{L_b}$$

$$VL = C / C_{th} = \left(\frac{\Delta L}{L_b} \right) / \left(\frac{\Delta L_{min}}{L_b} \right) = \frac{\Delta L}{\Delta L_{min}}$$

なお、L_b は背景輝度、L_o は視対象物輝度、L_{o,th} は閾における視対象物輝度である。

実際の照明環境における視対象物の輝度対比 C と輝度差 ΔL は実測から得られる。計算による予測も可能である。

輝度対比弁別閾 C_{th} については既に幾つかのデータが発表されている。しかし、例えば視対象物の大きさや提示時間などによって C_{th} の値は異なる。筆者らは、最も広く知られ、信頼性も高いとの判断から CIE の技術報告書「CIE publication No.19/2.1」のデータを使用した。この報告書では、次式に示すように輝度対比弁別閾 C_{th} を背景輝度 L_b の関数として与えている。

$$C_{th} = \frac{1}{1.555 \times [(1.639 / L_b)^{0.4} + 1]^{-2.5}} \times 0.0923 \text{(5)}$$

図2は式(5)による輝度対比弁別閾 C_{th} である。ただし、照明と視対象物および視作業者の条件が以下の場合のものである。

照明の条件：視野内にグレア源が存在せず、対象物の背景は均一な輝度分布

- 視対象物の大きさ：視角寸法4分
- 形状：円
- 提示時間：0.2秒
- 提示場所：視線方向
- 観測者の年齢：20歳代
- 順応状態：背景輝度に順応
- 予知の程度：視対象物の提示位置と提示タイミングを知っている

輝度差弁別閾 ΔL_{min} は、 $[\Delta L_{min} = \text{輝度対比弁別閾 } C_{th} \times \text{背景輝度 } L_b]$ として算出できる。

4. 若年者に対する文字の読みやすさと VL

JIS 照度基準の基になった印東と河合の実験¹⁰⁾は、対象物 (文字) は視線上にあり、被験者は文字の提示位置を承知しており、グレアはなく、急激な順応変化もない条件下で行なわれている。

図2 CIE 基準条件における輝度対比弁別閾

Fig.2 Relationship between background luminance and luminance contrast threshold under standard observing condition shown in CIE publication No.19/2.1.

このような条件を前提とし、前述のように VL は同様な条件下で定義されていることを考え合わせると、(1)式、(3)式、および(5)式とから文字の読みやすさ S と VL とを計算して、両者の関係を比較検討できる。文字の読みやすさ(図1)を求めた計算条件(輝度対比:80%, 観測距離:30cm, 文字の大きさ:3mm)をそのまま(3)式、(5)式に適用すると、図1と同一条件における VL を求めることができる。例えば、文字の背景の反射率 ρ は80%であるので、照度 E から背景輝度 L_b を算出できる($L_b = \rho E / \pi$)。また、(5)式が成立する視対象物の大きさでは輝度対比弁別閾 C_{th} を計算でき、 VL が求められる。

ただし、視対象物の大きさは上述のように視角寸法4分である。この4分は、30cmの距離から比較的に画数の多い3mmの文字「電」を見たとき、図3に示すように文字の画線の平均間隔にはほぼ等しい。文字の読みやすさを論ずる場合、文字の画線が分かることが前提である。視角寸法4分は、図3に示したように画線間に分解能を有しているので、印東らの実験結果を VL によって解析する場合、視角寸法4分の刺激として扱うことに問題はないと考える。

図4は計算結果で年齢を25歳としたときの照度と VL との関係を示したものであり、図5は年齢を25歳としたときの文字の読みやすさ S と VL との関係を示したものである。

図4、図5から若年者の場合、第一の結論として以下のことが言える。

- (1) 照度に対する VL の上昇は、5 [lx] 程度までは緩やかで、5

図3 文字の大きさと視角寸法(観測距離30cm)

Fig.3 Necessary visual angle for recognizing a sample character viewing in 30cm of observing distance.

図4 照度と VL との関係(年齢25歳)

Fig.4 Relationship between illuminance and Visibility Level calculated for age 25.

図5 JISの文字の読みやすさ S と VL との関係

(年齢25歳、照度1~2000 [lx] の範囲)

Fig.5 Relationship between readability defined in JIS Z 9110 and Visibility Level.

~3000 [lx] の間は直線的で、3000 [lx] を越えると緩やかになる、いわゆるシグモイド曲線に従う。

- (2) 文字の読みやすさ S と VL との間には一定の相関があり、特に文字の読みやすさ S の値が45~75の間では、 S と VL との間に直線関係(6)式が成立する。

$$VL = 0.34S - 14.1 \quad \dots\dots\dots(6)$$

- (3) 以上から、 VL は文字の読みやすさに対応した所要照度を検出する手段として有用である。

- (4) VL の値としては、文字の読みやすさとして「だいたい普通に読める: $S \geq 55$ 」ためには4.6以上が必要であり、「読みやすい: $S \geq 70$ 」ためには9.6以上が必要である。

5. 高齢者に対する VL と文字の読みやすさ

5.1 加齢の影響による輝度対比弁別閾の補正

高齢者の輝度対比弁別閾 C_{th} が明らかであれば、前述の結果が

ら高齢者が文字を「だいたい普通に読める」ために必要な照度を理論的に検討できる。

先のCIEの技術報告書は、Blackwell and Blackwellによる複数の研究¹²⁾¹³⁾に基づいて、加齢による補正として二つの要因を挙げている。ひとつは図2の曲線を上方に平行移動させる補正要因、つまり可視度に対する補正要因である。いまひとつは曲線の形状を変える補正要因、つまり対象物の大きさと提示時間の補正要因である。CIEの技術報告書では、これらの要因それぞれについて補正プロセスを示している。このプロセスは難解かつ複雑である。しかも、補正値の根拠となった研究資料の一部が所属機関内部の報告書であったりして追試的検討が困難である。ここでは補正値に基づく結果だけを述べると、高齢者の場合、照度を如何に高めても若年者の読みやすさの評価「だいたい普通に読める」に対応するVLには達しない。このことは、通常の屋内視環境において視距離の調整など工夫が必要とはいへ新聞等を普通に読めている高齢者が存在することからいえば、納得できないことである。

そこで筆者らは、視点を変えて加齢に伴う視力低下要因を再分析した結果、図2の輝度対比弁別閾 C_{th} を輝度差弁別閾 ΔL_{min} に変換し、さらにその輝度差弁別閾を中心窩順応輝度に基づく輝度差弁別閾と光幕輝度に基づく輝度差弁別閾に分けて、それを別々に補正するのが妥当と考えた。

5.2 加齢に伴う視力低下要因

高齢者は焦点調節力が低下する¹¹⁴⁾ので、紙面と目との距離を少し離して、視対象物を焦点の合うような視距離に持っていく方が文字を見やすくなる。この「視対象物を眼から遠ざける」という行為により、計算上は視角寸法が小さくなるため文字が見えにくくなるはずであるが、高齢者が印刷物を読む際は逆である場合が多い。このことは、焦点調節力が低下しはじめる年齢の者にとっては自明なことである。したがって、高齢者が本を読む場合などは、その紙面のある距離に焦点が正しく合うような視力矯正をすることが大切である。

これまで、高齢者に対する照度と視力、あるいは照度と文字の見やすさに関する実験は数多く報告⁶⁾¹⁵⁾されているが、被験者がかけていた眼鏡が正しく矯正されたものであったかどうかを子細に見ないと判断を誤る可能性がある。

北原¹⁶⁾は、市川の研究を引用してこれまでの報告には眼疾患を有する者、裸眼の者、不完全な矯正者の検査結果のものも含まれていると指摘したうえで、最良矯正した高齢者の視力を測定した。その結果、最良に矯正された高齢者は80歳でも10%は視力が1.0以上であったと述べている。さらに、視覚伝達路における加齢の影響を明らかにするため、水晶体の影響を除外した条件下で加齢が視力に及ぼす影響について検討した。具体的には白内障手術において、(濁りのない透明な)眼内レンズ挿入手術を施して矯正した後に視力を測定した。その結果、視力が加齢とともに低下する傾向を示していたことから、視力の加齢による変化には視覚伝達路の機能低下をも関与していることを報告した。しかしながら、図6に示すように85歳以上でも50%は視力1.0以上を得ており、従来の報告よりも良好な視力であった。同様な結果は、海外においてもOwsley¹⁷⁾やJayら¹⁸⁾によって報告されている。このことから、筆者らは視力の加齢による変化に視覚伝達路の影響はあるものの、眼球光学系、特に水晶体の影響が大きいと考えた。

水晶体が受ける加齢の影響は、白濁化と透過率の低下である。Wolf and Gardiner¹⁹⁾は、加齢による光の眼球内散乱の大部分が水晶体の加齢による変化のためであるとしている。白濁化は光の

図6 眼内レンズ眼で視力1.0以上を有する人の割合 (北原 (1997)¹⁶⁾より)
Fig. 6 Percentage of population having more than 1.0 of visual acuity with interocular lens, reproduced from Kitahara (1997)¹⁶⁾.

眼球内散乱を引き起こし、網膜に投影される像のコントラストを減じて見え方を低下させる。この白濁化によって生じる光幕輝度の大きさに波長依存性はない²⁰⁾。これは白濁化に関与する水晶体の蛋白質の粒径が波長依存性の散乱(Rayleigh散乱)をおこす粒径よりも大きいためと考えられている。透過率の低下は網膜に達する光量を減少させる。光量の減少は中心窩順応輝度を低下させて輝度差弁別閾を低めるようにはたらくが、網膜上に達する視対象物からの輝度を低めさせる。この輝度差弁別閾は中心窩順応輝度に対して緩やかに変化するため、中心窩順応輝度が低下することによる輝度差弁別閾の低下よりも、網膜に達する光量の低下による視対象物と背景との間における輝度差の低下のほうが大きい。すなわち、網膜に達する光量の低下は輝度の差の弁別力を弱める。この加齢による透過率の低下には波長依存性があるという報告^{21)~23)}と、ないという報告²⁴⁾とがある。

視覚伝達路における加齢の効果に関して、Elliot²⁵⁾やBurtonら²⁶⁾は網膜上に投射したレーザー干渉縞を用いて眼球光学系の影響を除去した条件でコントラスト感度を測定した結果、加齢による差は0.1~0.3対数単位程度であることを報告した。また、鶴飼ら²⁷⁾は、比較的視力が良好な観測者に対してコントラスト感度を測定した結果を報告している。それによると高齢者のコントラスト感度は若年者に比べて低下しているが、それほど大きな差ではない。鶴飼らのデータは、万全とはいえないまでも視力矯正が配慮された計測値であることを考慮すると、北原および他の研究者による水晶体摘出後の視力測定の結果およびElliotやBurtonらによる眼球光学系の影響を除いたコントラスト感度測定の結果と対応する。いっぽう、網膜中央部において錐体の数は加齢による影響はない²⁸⁾が、数十%の神経節細胞は加齢によって損失している²⁹⁾という知見がある。また神経節細胞以降(外側膝状体や大脳)の神経系における神経細胞の加齢による損失も考えられる。このため、視線中心における視機能において視覚伝達路における加齢の影響はもっと大きいのではないかと推測も可能である。これに関しては、高齢者の色覚に対して篠森³⁰⁾が論じたように、加齢による組織の影響を補償するような神経系の可塑性がコントラスト感度特性に対してもはたらくため、視覚伝達路における加齢の影響は眼球光学系に比べて小さい状態が維持されているのかもしれない。

以上のことから、筆者らは次の仮説を導いた。

- (1) 高齢に伴う視力低下は、大部分が水晶体の影響によるものであり、かつ、眼鏡による矯正の不完全さによるものである。
- (2) 水晶体以降における視覚伝達路の加齢の影響は少ないので、水晶体の加齢の影響を検討すべきである。

- (3) 水晶体が受ける加齢の影響は、白濁化と透過率の低下である。したがって、加齢による水晶体の白濁化と透過率の低下とを考慮した年齢補正をすることにより、高齢者の VL は評価できる。

6. 輝度差弁別閾の年齢補正

加齢に伴う水晶体の影響、つまり白濁化と透過率の低下を加味するためには、先ず、図2に示した輝度対比弁別閾 C_{th} のデータを眼球内散乱と透過率の低下による影響とに分離しなければならない。

6.1 輝度対比弁別閾の輝度差弁別閾への変換

輝度対比 C は $C = |L_b - L_0| / L_0$ で与えられる。輝度差 ΔL は $\Delta L = |L_b - L_0|$ で与えられる。輝度差弁別閾は弁別できる視対象物と背景とを弁別するために必要な最小の輝度差のことであるから、輝度差弁別閾 ΔL_{min} は図2に示した輝度対比弁別閾 C_{th} のデータから $\Delta L_{min} = C_{th} \times L_0$ として変換できる。変換したのが図7の曲線Aである。

輝度差弁別閾に関し、武内ら³¹⁾は、中心窩順応輝度に対する輝度差弁別閾 ΔL_{af} と等価光幕輝度に対する輝度差弁別閾 ΔL_{eq} との間には加法性が成り立ち、その和はその視野に対する輝度差弁別閾に等しいことを実験的に明らかにしている。つまり、 $\Delta L_{min} = \Delta L_{af} + \Delta L_{eq}$ となる。このことは、図7に示した輝度差弁別閾 ΔL_{min} を、中心窩順応輝度に対する輝度差弁別閾 ΔL_{af} と等価光幕輝度に対する輝度差弁別閾 ΔL_{eq} とに分割できることを示している。

武内らのデータを見ると、 ΔL_{af} および ΔL_{eq} には次のような特徴がある。

- (1) 背景輝度が高くなるにつれて ΔL_{min} における ΔL_{eq} の寄与が大きくなる。
- (2) ΔL_{eq} の ΔL_{min} に対する寄与が支配的な高輝度領域において、 ΔL_{eq} の形状は光幕輝度に対して両対数表示で直線上にあるようにみえる。

- (3) 十分に低い背景輝度における ΔL_{min} に対する ΔL_{af} の寄与が大きい。

- (4) ΔL_{af} の形状は色順応研究における field sensitivity データにあてはめる曲線 (ξ 関数³²⁾) に形状が似ている。

そこで、(2)から ΔL_{eq} 曲線をすべての輝度範囲について光幕輝度 L_v に対して両対数表示で線形な関数と仮定し、(4)から ΔL_{af} は中心窩順応輝度 ΔL_{af} に対して ξ 関数と仮定する。すなわち、

$$\log \Delta L_{eq} = a * \log L_v + b \quad \cdots \cdots (7)$$

$$\log \Delta L_{af} = \log \xi (L_{af} \times 10^c) + d \quad \cdots \cdots (8)$$

式(7)で得られる ΔL_{eq} と式(8)で得られる ΔL_{af} との和 ΔL_{min}^* とを計算し、CIE 報告書の輝度対比弁別閾 ΔL_{min} に対して上記(1)および(3)の要件を満たすように、対数表示での残差を最小にできるパラメータ a, b, c および d の最適値を求めた。その結果が図7の曲線B (ΔL_{af}) と曲線C (ΔL_{eq}) である。ちなみに各パラメータの値は、 $a=0.84, b=-0.76, c=2.4$, および $d=0.25$ であった。武内らの報告から、おそらく実際の ΔL_{eq} 関数は約 $10 [\text{cd}/\text{m}^2]$ 以下では曲線Cよりもやや大きい値をもつことが推察できる。しかしながら、本論文で扱うような屋内照明レベルでは、そのような低輝度領域はない。むしろ曲線Cによる近似が成立するような輝度領域を問題にしていることから、上記のずれは本質的な問題にならない。また、曲線Bにおいて ξ 関数を近似曲線のベースとしたことについていえば、その関数が得られた観測条件は VL を検討する観測条件と異なるため、厳密に言えば曲線の詳細は異なるであろう。しかしながら、たとえば多項式で記述できる解析曲線を適用すると、パラメータの数が多くなり、最適解を求めることが難しくなる。その点、 ξ 関数を適用すればパラメータの数は2個となり、最適解は比較的容易に求められる。また、武内らの報告における ΔL_{af} の形状を参照すると、輝度差弁別閾を絶対閾から1対数単位上昇させるために3桁以上の背景輝度の上昇を必要とすることがわかる。この特性は ξ 関数の特性と基本的に変わらない。したがって、 ξ 関数の適用は、微視的な部分はともかく、おおまかな特性をとらえるにおいて問題ないであろう。

図8に、図7における曲線B (ΔL_{af}) と曲線C (ΔL_{eq}) とを加算して再構成した ΔL_{min}^* と、図7における曲線A (ΔL_{min} , 式(5)の輝度対比弁別閾曲線から求めた輝度対比弁別閾曲線) とを比較

図7 CIE 基準条件下における輝度差弁別閾、および筆者らの仮説により導いた中心窩順応輝度による輝度差弁別閾および等価光幕輝度による輝度差弁別閾

Fig. 7 Luminance difference threshold curve under CIE standard observing condition, and those by foveal adapting luminance and equivalent background luminance derived from authors' hypotheses.

図8 CIE 基準条件下における輝度差弁別閾 ΔL_{min} および筆者らの仮説により求めた輝度差弁別閾曲線 ΔL_{min}^* の和との比較

Fig. 8 Comparison between the luminance difference threshold curve derived from CIE publication No.19/2.1 (ΔL_{min}), and the reconstructed one from luminance difference threshold curves under authors' hypothesis (ΔL_{min}^*).

する。図8で明らかなように、両者はよく一致しており、曲線の近似は良好であるといえる。

6.2 光幕輝度の影響による輝度差弁別閾 ΔLeqの年齢補正

光幕輝度は周辺から目に入射する光が眼球内で散乱することにより生ずる影響であるから、加齢により水晶体が白濁化すればその影響は大きくなる。光幕輝度は(9)式で求められる。

$$L_{eq}=k\frac{E}{\theta^2} \cdots \cdots \cdots (9)$$

ただし、*k*：補正係数
E：観測者の目の位置における角膜照度
θ：視線と光源のなす角度

年齢の影響は係数*k*で補正される。係数*k*について従来からの研究は幾つかあり、それらは Vos³³⁾がレビューしている。Vosの論文の表3に示されている複数の研究者によって報告された*k*値に対して、20歳で規格化した場合の70歳における相対値を平均した。それは、

20歳代：*k*=10
70歳：*k*=24

である。つまり、高齢者が受ける光幕輝度の影響は、高齢者に対して約2倍以上の輝度を持つ周辺視野から受ける若齢者の光幕輝度の影響に等しい。

このことから、図7の曲線B（20歳代の光幕輝度による輝度差弁別閾 ΔLeq）を左方に平行移動することにより、70歳のデータとして補正することができる。補正したのが、図9の曲線Bである。

6.3 中心窩順応輝度による輝度差弁別閾の年齢補正

中心窩順応輝度は、加齢による水晶体の透過率低下の影響を受ける。水晶体は加齢に伴い黄色化し透過率が低下する。加齢による水晶体の分光透過率の変化についての報告は多くあるが、それらの多くは、研究の目的および測定手法の制約などの理由により、長波長（650～700nm）を基準とした相対値で示している²¹⁾²⁴⁾。これらの文献で報告された加齢による相対分光透過率についての経験式は、たとえば各年齢について網膜上に達した光の色度を計算するのに適用できる。しかし、実際には長波長域の透過率も加齢によって低下する³⁴⁾ことから、前記の経験式による分光透過率をそのまま絶対値として扱うことはできない。本検討では、年齢間での透過率の絶対値における差を問題としているので、年齢間で

図9 高齢者の輝度差弁別閾
Fig.9 Estimated luminance difference threshold for older people (age 70).

分光透過率の絶対値の比較が可能な手法で得られたデータを用いる必要がある。Weale²²⁾は0～85歳までの摘出眼の水晶体を対象に分光透過率の絶対値を測定し、加齢を変数とした水晶体の分光透過率についての経験式を報告した。その経験式をもとに、白色光源を想定して最大視感度555nmにおける、25歳の透過率に対する70歳の透過率を計算した結果、約70%であった。同様な手法により水晶体の分光透過率を計測した Mellerio²³⁾の報告からも、最大視感度付近の波長568nmにおける若年者に対する高齢者の透過率は約70%であることがいえる。さらに、Said and Weale³⁵⁾は様々な年齢の被検者を対象に、水晶体表面の反射によって生じるブルキンエ像の強度を解析して分光透過率を計測した。彼らの最も高齢な被検者は63歳であったので、彼らのデータを外挿して、最大視感度に最も近い波長558nmにおける25歳の透過率に対する70歳の透過率を推定したところやはり同様な値（若年者に対する高齢者の透過率は約70%）であった。

様々な実用光源に対して、それらの分光分布と Weale²²⁾に示された加齢による水晶体の分光透過率の変化についての経験式とから、加齢による水晶体の全光線透過率の変化を試算した。その結果、分光分布の異なる光源間で計算値に若干の差はあるものの、白色光源である限り、加齢による水晶体の全光線透過率は約70%であった。換言すると、上記検討のように、555nm 付近の光学濃度を代表値として扱ったことは妥当である。

このことは、中心窩順応輝度からすれば例えば70歳の場合、25歳の約1.4（=1/0.7）倍の照度を与え、かつ輝度差の弁別には約1.4倍の光量が必要であることを示している。すなわち、図7の曲線C（中心窩順応輝度による輝度差弁別閾 ΔLat）を右上方に平行移動することにより、70歳のデータとして補正できる。補正したのが図9の曲線Cである。

6.4 高齢者の輝度差弁別閾

6.1節で述べた加法性から、高齢者の輝度差弁別閾 Δ*L* は年齢補正した等価光幕輝度による輝度差弁別閾 Δ*L*_{eq}と中心窩順応輝度による輝度差弁別閾 Δ*L*_{at}との和として求められる。求めたのが図9の曲線Aであり、これが目的とした高齢者（70歳）の輝度差弁別閾である。

7. 高齢者の文字の読みやすさと所要照度

図9に示した高齢者（70歳）の輝度差弁別閾を用いて、あらためて高齢者の輝度対比弁別閾 *C*_hを求め直し、*VL*を計算すると図10が得られる。図10から次のことが言える。

- (1) 照度が高くなると *VL* も大きくなり、文字の読みやすさも「だいたい普通に読める」範囲に入るようになる。

図10 高齢者における照度と VL の関係
（文字の大きさ 3 mm および観測距離 30 cm）

Fig.10 Relationship between illuminance and Visibility Level for older people (assuming character height is 3mm and the observing distance is 30 cm).

- (2) 高齢者において3mmの文字（新聞における本文の文字の大きさ）が「だいたい普通に読める」ためには、ほぼ700 [lx] の照度があればよい。
- (3) ただし、上記の照度は、印東と河合が行った実験条件に等しい条件、すなわち、視野内にグレア源がなく、周辺の輝度は文字の背景輝度より低い条件の場合に成立するものである。

8. 考察

印東と河合の実験条件に対してVLによる解析と年齢補正を加えることにより、高齢者が新聞を読むために必要な最低照度は約700 [lx] であるという結論を得た。この値は、JIS Z 9110⁵⁾の解説において記載されている高齢者に対する推奨照度範囲の下限600 [lx] に近い、しかも住宅照明で実現可能な現実的な値である。

観測条件は異なるが、Guth³⁸⁾は、ある一定のコントラストの文字を読むことのできる照度をLuckiesh-MossのVisibility Meter³⁷⁾によって求めた。その結果、20歳代（平均26歳）では355 [lx] であり、60歳代（平均63歳）では602 [lx] であったことを報告した。また、岡嶋と岩田³⁸⁾によると、机上面が「最も読みやすい明るさ」になるように観測者に調光させて求めた照度の下限平均値は、高齢者において昼白色蛍光灯照明光では803 [lx] である。これらの値を直接的には本検討結果と比較することはできないが、高齢者が文字を普通に読める照度はそれほど高いものではないという結果は同じである。すなわち、本検討で得た高齢者が文字を「だいたい読める」照度の下限として700 [lx] という値は絶対値として妥当である。

印東と河合の研究による若年者が文字を「だいたい普通に読める」照度の下限は40 [lx] であり、VL=4.6に相当する。そのVLから年齢補正を経て導出された高齢者についての照度が700 [lx] であり、その倍数は17である。いっぽう、JIS Z 9110の解説によれば若年齢者の推奨照度に対する高齢者の推奨照度の比は2倍もしくは数倍である。この違いは大きいように思われる。しかしながら、推奨照度がどのような思考プロセスを経て決められたかは明確でない。JIS Z 9110の推奨照度は、今回解析した印東と河合の研究¹⁰⁾のみならず、様々な光条件下で必要照度を求める実験データ（たとえば松井と近藤³⁹⁾、CIE 出版物⁴⁰⁾など）を参照しつつ、経済性、作業の種類などのバランスを考慮したうえで総合的に判断して、社会的コンセンサスが得られる値に決められたと聞く。すなわち、JIS Z 9110における若年齢者の推奨照度と高齢者の推奨照度とで、その倍数の意味を詳細に論じても学問的意味は薄いので、本論文の結論との違いはこれ以上ふれない。ただし、若年者および高齢者を対象とした、作業に必要な照度の下限値については、従来からの研究例をみても観測実験によって異なる。たとえば岡嶋と岩田³⁸⁾は机上面が「最も読みやすい明るさ」になったときの照度の下限平均値は、昼白色蛍光灯照明光下で若年齢者は400 [lx]、高齢者は803 [lx] であったことを報告した。すなわち必要照度の下限の倍数は約2である。いっぽう、岩井⁴¹⁾はInoue and Akizuki⁴²⁾によって求められた照度と「普通に読める」以上の評価となる累積確率との関係を引用し、「普通に読める」以上の評価となる累積確率が50%となる照度は、若年者で約20 [lx]、高齢者で500 [lx] であることを示した。すなわち、照度の倍数は25である。このように研究によって結果が異なるのは、おそらく観測条件、タスクの違いなどに起因していると推察するが、少なくとも本論文によって示したVLに基づいて求めた高齢者の照度の下限値と若年者の必要照度の下限値との比が、従来の実験結果と

必ずしも矛盾するものでないことはいえる。

図10は、高齢者は高照度でVLが低い値で飽和し、高照度にしても若年者が「読みやすい」とするVLの値には達しないことを示している。ただし、この結論は今回検討した観測条件、すなわちJIS Z 9110策定の際に参考にされたであろう印東と河合の実験条件にあてはめた場合のものであり、視対象物のコントラストや視角寸法が異なる場合、たとえば文字が大きい場合などは若年者が「読みやすい」とするVLの値に達することは十分にありうる。逆に、視対象物のコントラストや視角寸法などの条件が閾値に近い場合は、高照度にすることによって「見えるようになる」ものの、「非常に見やすい」までには達しない場合もある。つまり、観測条件やタスクの違いなどによって照度に対するVLの飽和点は異なるものであり、照度を高めることによって高齢者でも若年齢者に近い視対象物の見えが得られるという従来からの知見を図10が否定しているわけではない。

ここで、なぜCIE 報告書⁹⁾では加齢による補正要因が大きく見積もられ、このため如何に照度を高くしても高齢者は「だいたい普通に読める」読みやすさに対応するVLの値にすら達しなかったのかという疑問がある。繰り返し述べるが、同報告書に記載の補正要因を検討した実験の資料はBlackwell and Blackwellが所属していた研究機関の内部報告書であることから、具体的に原因を究明することはできない。筆者らは、日常、高齢者が新聞を読むときは近距離用の眼鏡を必要とすることに着目し、この主な原因は観測者の視力矯正が十分でなかったことにあったと推察する。視力矯正が不足すると指標はボケた網膜像になり、輝度対比弁別閾は当然のことながら大きめの値になる。観測者が若年者であれば焦点調節能力が十分であるため、指標の提示されている位置に焦点を合わせることも可能である。しかしながら、高齢者はそうでなく、視距離に応じた視力矯正を必要とする。Blackwell and Blackwell¹¹⁾¹²⁾は加齢による影響を調べるにあたって200名以上の観測者からデータを得ており、その努力のほどはうかがわれる。しかしながら、その観測者の数の多さゆえにかえて、そのひとりひとりの視力、特に高齢者の視力を、指標の提示される視距離に対してきちんと矯正できていたかは疑問である。彼らの実験装置は、距離0.91m前方という近距離に、視角寸法4分（ランドルト環で視力0.25の指標の切れ目に相当）という小さい指標が提示される構成である。高齢者はほとんど焦点調節できず、その安静位はほぼ遠点であることが知られている。したがって、Blackwell and Blackwellの採用した高齢者の観測者のすべてが、近距離に提示された、焦点ボケの影響を受けやすい小さな指標に対してきちんと焦点調節できていたかは保証の限りではない。この視力矯正が欠如していると、若年者についてはあまり影響がないであろうが、高齢者について輝度対比弁別閾は大きめの値になる。このようにして得られたデータすべてを統計処理して導かれた結果、加齢による補正要因が大きく見積もられたと筆者らは考える。換言すれば、CIE 報告書に記載の加齢による補正要因は、「視力補正をしない多数の観測者に特定の視距離（近距離）の指標を観測させた結果得られた」といえるかもしれない。しかしながら、光環境設計において視対象物の見え方における照度や視対象物のコントラストの影響を論じる場合は、そこに焦点が合っていることを前提とする。もし上記の推察が正しければ、CIE 報告書に記載されている高齢者に対しての知見については問題が残るといえよう。したがって、高齢者のVLを評価するにはCIE 報告書に記載されたやり方でなく、本検討で示したように若年齢者の

輝度対比弁別閾曲線に対して加齢による影響を各要因ごとに考慮して、それらを総合するような別な補正方法が有効である。

通常の屋内視環境における照度レベルにおいては、輝度差弁別閾の値は主として等価光幕輝度による成分 ΔL_{eq} が支配的である。すなわち減能グレアが視対象物の見え方に大きく影響する。したがって、等価光幕輝度の影響を減らすことにより、VL の値は大きくでき、その値に基づいて高齢者が文字を普通に読むための照度を低く設定することも可能である。式(9)から、高齢者の ΔL_{eq} は、等価光幕輝度の影響を表す係数 k によって異なる。今回の検討で得られた値 700 [lx] は、係数 k の値として Vos³⁴⁾ に記載の研究報告すべての平均値を採用した場合の結果であった。以下、20歳で $k=10$ と規格化した場合について、同文献に記載された研究例に記載された k 値ごとに、高齢者が「大体普通に読める」照度値を試算した。その結果、Blackwell and Blackwell¹³⁾ の値 (70歳で $k=20$) を採用すれば約 400 [lx]、Aulhorn and Harms⁴³⁾ の値 (70歳で $k=22$) では約 500 [lx]、Christie and Fisher⁴⁴⁾ の上限と下限の平均値 (70歳で $k=24$) では上記検討と同じく 700 [lx]、Longobardi⁴⁵⁾ および Sturgis and Osgood⁴⁶⁾ の値 (70歳で $k=28$) では 1000 [lx] を超える照度値になる。したがって、VL によって高齢者にふさわしい屋内の光環境設計を行なうには、 k 値を正しく把握することが重要な課題であるといえる。なお国際照明委員会の技術委員会 TC1-18「Disability Glare」では、この眼球内散乱強度の角特性および年齢補正が検討されている。1996年までの検討結果をまとめた chairman's report⁴⁷⁾ では、Vos³³⁾ および IJ-speert⁴⁸⁾ の結果をもとに、 k 値は $[1 + (\text{age}/70)^4]$ にしたがって増加することが記されている。すなわち、同レポートでは70歳における k 値は20歳のその約2倍である。

輝度差弁別閾曲線の年齢補正において、加齢に伴う水晶体の白濁化および透過率の低下とを考慮した。このなかで、透過率の低下についてのデータは物理的測定に基づくものであり、図9の曲線 C (ΔL_{at}) は眼球光学系の特性のみを反映している。いっぽう、白濁化による光幕の影響を表わす係数 k の決定は、視線中心の視対象物の見えに及ぼす視野周辺に置かれたグレア光源の影響を、高齢者の観測者を用いて心理物理学的に計測されたものである。すなわち、図9の曲線 B (ΔL_{eq}) には眼球光学系の特性に加えて視覚伝達路の加齢による影響も含まれているといえる。前述のように通常の屋内視環境における照度レベルにおいては、輝度差弁別閾の値に対する寄与は主として等価光幕輝度による成分が支配的である。ちなみに、Elliot²⁵⁾ や Burton²⁶⁾ の結果を参照して、眼球光学系の特性のみが含まれている曲線 C (ΔL_{at}) について、視覚伝達路の加齢効果として閾値を0.1~0.3対数単位上昇させたとしても、等価光幕輝度による輝度差弁別閾との加算によって得られる値は曲線 A のそれとそれほど変わりはない。したがって、図9に示す高齢者の輝度差弁別閾曲線 A (ΔL_{min}) は、眼球光学系のみならず視覚伝達路の加齢による影響まで考慮されていると考えてよい。

以上、本論文で展開したように、VL は視対象物のコントラスト、大きさ (視角寸法) などの計算条件さえおさえれば、高齢者の文字の見やすさと所要照度との関係を得ることができる。すなわち、VL の概念は加齢による影響も考慮したうえで、文字の見え方などを定量的に評価できる解析方法であるといえる。

9. 結論

以上の検討から結論として次のことがいえる。

- (1) わが国で広く使用されている JIS の照度基準の基礎になった印東と河合の研究による「照度」と「文字の読みやすさ」との関係は、「照度」と「VL」との関係に等価的に置換できる。
- (2) 「文字の読みやすさ」と「VL」との間には一定の相関があり、文字の読みやすさの程度を示す S の値が45~75の間では、 $VL=0.34S-14.1$ の関係にある。
- (3) 加齢にともない視機能、特に視力が低下するが、その主たる要因は水晶体の白濁化による眼球内散乱の増大と黄色化による透過率の低下である。この二つの要因に対する高齢者の生理的データから、新たに高齢者 (70歳) の輝度差弁別閾を導出した。
- (4) JIS の照度基準の基礎になった印東と河合の研究による「照度」と「文字の読みやすさ」との関係を、上記(3)で述べた高齢者 (70歳) の輝度差弁別閾を用いて「照度」と「VL」との関係に等価的に置換した結果、高齢者にとって文字が普通に読めるための照度の下限は約 700 [lx] であった。
- (5) VL の概念は加齢による影響も考慮したうえで、文字の見え方などを定量的に評価できる解析方法であるといえる。

参 考 文 献

- (1) 塚原、三島、植村編：老人と眼図説臨床眼科講座常用版第4巻、メジカルビュー社 (1986)。
- (2) M. A. Johnson and D. Choy : "On the definition of age-related norms for visual function testing", Appl. Opt., 26, pp.1449-1454 (1987)。
- (3) J. S. Werner, et al. : "Light, vision, and aging", Optom. Vis. Sci., 67, pp.214-229 (1990)。
- (4) R. A. Weale : "Effect of senescence", in Limit of Vision, ed. J. J. Kulikowski, et al., The MacMillan Press Inc., pp. 279-281 (1991)。
- (5) 財団法人規格協会：JIS Z 9110-1979照度基準解説, p.19 (昭54)。
- (6) 財建材試験センター：住宅性能標準化のための調査研究報告書, (昭52, 昭53)。
- (7) 財団法人照明学会：新時代に適合する照明環境の要件に関する調査研究 (昭60)。
- (8) 柏 貴浩ほか：高齢者の住む住宅の照明に関する調査, 照明学会全国大会予稿集, p.182 (平8)。
- (9) CIE Publication No.19/2.1 and No.19/2.2, "An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance" (1981)。
- (10) 印東、河合：「適正照度に関する心理学的実験」, 照学誌, 49, pp.52-63 (1965)。
- (11) 河合、黒沢：「照度と読みやすさとの関係を表す簡単な実験式」, 照学誌, 57, pp.580-583 (1973)。
- (12) O. M. Blackwell and H. R. Blackwell : "Visual reference data for 156 normal observers of various ages", J. Illum. Engng. Soc., 1, pp.3-13 (1971)。
- (13) O. M. Blackwell and H. R. Blackwell : "Individual responses to lighting parameters for a population of 235 observers of varying ages", J. Illum. Engng. Soc., 9, pp. 205-232 (1980)。
- (14) K. J. Ciuffreda : "Accommodation and its anomalies", in Visual Optics and Instrumentation, ed. W. N. Charman, The MacMillan Press Inc., pp.231-279 (1991)。

- (15) 社照明学会：新しい明視論（昭41）。
- (16) 北原健二：高齢者の視覚，NHK 公開シンポジウム「人に易しい放送を目指して」予稿集，pp.17-20（1997）。
ここで引用されている市川の論文は，市川宏：「老化と眼の機能」，臨床眼科，35，pp.9-26（1981）。
- (17) C. Owsley, et al. : "Role of the crystalline lens in the spatial vision loss of the elderly", Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 26, pp.1165-1170（1985）。
- (18) J. L. Jay, et al. : "Effect of age on visual acuity after cataract extraction", British J. Ophthalmol., 71, pp.112-115（1987）。
- (19) E. Wolf and J. S. Gardiner : "Studies on the scatter of light in the dioptric media of the eye as a basis of visual glare", Arch. Ophthalmol., 74, pp.338-345（1965）。
- (20) B. R. Wootton and G. A. Geri : "Psychophysical determination of intraocular light scatter as a function of wavelength", Vision Res., 18, pp.1291-1298（1987）。
- (21) J. Pokorny, et al. : "Aging of the human lens", Appl. Opt., 26, pp.1437-1440（1987）。
- (22) W. A. Weale : "Age and the transmittance of the human crystalline lens", J. Physiol., 395, pp.577-587（1988）。
- (23) J. Mellerio : "Light absorption and scatter in the human lens", Vision Res., 11, pp.129-141（1971）。
- (24) G. L. Savage, et al. : "Age changes in the optical density of human ocular media", Clin. Vision Sci., 8, pp.97-108（1993）。
- (25) D. B. Elliot : "Contrast sensitivity decline with ageing : a neural or optical phenomenon?", Ophthal. Physiol. Opt., V7, pp.415-419（1987）。
- (26) K. R. Burton, et al. : "Aging and neural spatial contrast sensitivity : photopic vision", Vision Res., 33, pp.939-946（1993）。
- (27) 鶴飼一彦ほか：「多数例におけるコントラスト感度空間周波数特性の検討：正常者の年齢・弱視者の視力をパラメータとした解析」，眼科臨床医報，92，pp.756-760（1998）。
- (28) C. A. Curcio, et al. : "Aging of the human photoreceptor mosaic : evidence for selective vulnerability of rods in central retina", Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 34, pp.3278-3296（1993）。
- (29) C. A. Curcio, et al. : "Retinal ganglion cells in Alzheimer's disease and aging", Ann. Neurol., 33, pp.248-257（1993）。
- (30) 篠森敬三：「高齢化と色の見え～加齢による色覚の変化～」，カラーフォーラム JAPAN'97論文集，pp.89-96（1997）。
- (31) 武内，成定：「中心窩順応輝度と光幕輝度とに対する輝度差弁別閾の加法性」，照学誌，80，pp.527-531（1996）。
- (32) G. Wyszecki and W. S. Stiles : Colour Science, John Wiley & Sons, p.528（1982）。
- (33) J. J. Vos : "Disability glare-a state of the art report", CIE Journal, 3, pp.39-53（1984）。
- (34) E. A. Boettner and J. R. Wolter : "Transmission of the ocular media", Investigative Ophthalmol., 1, pp.776-783（1962）。
- (35) F. S. Said and R. A. Weale : "The variation with age of the spectral transmissivity of the living human crystallin lens", Gerontologia, 3, p.213（1959）。
- (36) S. L. Guth : "Effect of age on visibility", Am. J. Optom. & Arch. Am. Acad. Optom., 34, pp.463-477（1957）。
- (37) M. Luckiesh, et al. : "Technique of using the Luckiesh-Moss visibility meter", Illum. Engng., 43, pp.223-230（1948）。
- (38) 岡嶋，岩田：「水晶体加齢モデルによる高齢者の照明シミュレーションと最適照度の検討」，照学誌，82，pp.564-572（1998）。
- (39) 松井，近藤：「照度と目の疲労に関する研究」，照学誌，47，pp.176-184（1963），および同論文に対する蒲山久夫氏のコメント，照学誌，47，pp.174-186（1963）。
- (40) CIE : Publication No.29 : Guide on interior lighting（1975）。
- (41) 岩井彌：「加齢の影響を加味した視認性評価方法一年齢別等視力曲線の作成」，照学誌，82，pp.921-925（1998）。
- (42) Y. Inoue and Y. Akizuki : "Influence of age and visual acuity on readability and brightness", Proceedings Lux Pacifica '97, A55-60（1997）。
- (43) E. Aulhorn and H. Harms : "Über die Untersuchung der Nachtfahreignung von Kraftfahrern mit dem Mesoptometer", Klin. Monatsbl. f. Augenheilk., 156, pp.843-873（1970）。
- (44) A. W. Christie and A. J. Fisher : "The effects of glare from street lighting lanterns on the vision of drivers of different ages", Trans. Illum. Engng. Soc., 31, pp.93-108（1966）。
- (45) G. Longobardi : "On the variability of the disability glare factor", Atti. Fond. Ronchi, 28, pp.653-662（1973）。
- (46) S. P. Sturgis and D. J. Osgood : "Effects of glare and background luminance on visual acuity and contrast sensitivity : implications for driver night vision testing", Human Factors, Vol.24, pp.347-360（1982）。
- (47) J. J. Vos and T. J. T. P. van den Berg : "On the course of the disability glare function and its attribution to components of ocular scatter", CIE publication No.124, pp.11-29（1997）。
- (48) I. K. JJspeert, et al. : "The intraocular straylight function in 129 healthy volunteers; dependence on angle, age and pigmentation", Vision Res., 30, pp.699-707（1990）。

（受付日1998年8月31日／採録日1999年1月7日）

たなべ よしのり
田辺 吉徳（専門会員）

松下電器産業株式会社研究本部照明研究所

昭和20年8月8日生まれ。昭和39年鹿児島工業高等学校電気科卒業。同年松下電器産業(株)に入社。照明研究所で視覚心理と視認性に視点を置いた照明設計技術の研究開発に従事。日本照明委員会会員。

おおたけ しろう
大竹 史郎 (正会員)

松下電器産業株式会社研究本部照明研究所
〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台3-4
昭和30年11月14日生。昭和55年東京工業大学大学院修士課程(物理情報工学専攻)修了。
同年松下電器産業㈱に入社。現在、照明研究

所で視覚科学の応用研究に従事。日本光学会、日本視覚学会、OSA、ARVO 会員。