顔面の所要輝度に対するビジビリティレベルの適用性の検討

専門会員 田 渕 義 彦 (松下電工株式会社)

Applicability of the Visibility Level Scale to Required Face Luminance

Fellow Member Yoshihiko Tabuchi

(Mtsushita Electric Works, Ltd.)

KEYWORDS : visibility level, face luminance, equivalent veiling luminance, applicability

1. はしがき

各種の対象に必要な照度・輝度は、照明条件によっても非常に異なるから、適切な設計推奨値を定めるためには、照明条件が異なる場合の照度・輝度の効果を共通に等価的に表示する尺度が必要である。この一つに“ビジビリティレベル”¹⁾が提案されている。これは“対象において表出されている対比の、threshold contrast (対比閾”と訳す)に対する倍数”であるが、実際の見え方の尺度として“適用性”を有するかの確認が必要である。少なくとも、異なる照明条件下で、同じ見え方が得られるための所要照度・輝度が異なっている場合にも、ビジビリティレベルは同じ値となることの確認が必要である。

田渕は文字の見え方に必要な照明条件の例として“CRT ディスプレイの表示文字の所要輝度”²⁾³⁾に関して、標準見え方参照関数¹⁾(後述)が与えられている範囲の一部分に関してだけではあるが、同じ見え方が得られる場合の表示文字の観察輝度比はかなり異なっているにも係わらず、ビジビリティレベルはほとんど同じ値になることを明らかにして、適用性があることを確認した⁴⁾。これを以下前報という。

さらにビジビリティレベルの広範な適用のためには、他の事例に関しても確認が必要である。この一例として、重要な視対象である顔面の所要輝度が、背景輝度に依存して大きく変化する^{5)~11)}で検討する。これは、視野周辺部に高輝度部分が存在する場合の、視対象に重畳する等価光幕輝度の問題に還元される。

2. 顔面の所要輝度の研究結果

田渕ら^{5)~8)}(以下“既報”という)および Fischer^{9)~11)}の、背景輝度に対する顔面の所要輝度に関する研究結果を略述する。

背景の前に位置している人の顔を図1に示す。

既報^{5)~8)}では、背景輝度が室内の通常の壁面を想定した約200 cd/m²以下と、窓面を想定した約500~17000 cd/m²の両方の範囲の研究が行われ、それぞれを低輝度背景および高輝度背景という⁸⁾。顔面および背景を見込む立体角の関係で定まる“等価光幕輝度係数⁸⁾”(等価光幕輝度¹²⁾／背景輝度)は、低輝度背景および高輝度背景の場合で、それぞれ 3.2×10^{-2} と 3.0×10^{-2} である。低輝度背景の場合には、机上面照度の影響を検討するために、顔面を机上面と見比べる場合と、見比べない場合の両方の研究が行われた。

図1 人の顔面の見え方
Fig.1 A view of a face.

高輝度背景の場合は、机上面と見比べる研究は行われていない。

用いられた評価法は調整法で、顔面の見え方の程度を“評価区分”といい、低輝度背景の場合は、“最適”および“下限”が用いられ、高輝度背景の場合は、“シルエット視”を前提とした“ややよい”および“下限”が用いられた。

Fischerの研究では机上面照度は取り扱われていない。評価区分は原文で示せば、

- A. A face that was optimally (i.e. very agreeably) lit;
 - B. A face that was just acceptably (i.e. features recognizable without any special effort on the part of the observers);
 - C. Features that were just recognizable.
- である。

背景輝度に対する所要顔面輝度(原著では“好ましい顔面輝度”と記されている)の関係を、横軸を背景輝度の対数、縦軸を顔面輝度の対数にとって図2に示す。同図は、低輝度背景の場合については、机上面照度が500lxの場合の、各評価区分の調整値の累積出現率の50%値を、顔面を机上面と見比べる場合を実線で、見比べない場合を破線で、高輝度背景の場合については、調整値の累積出現率の90%値および50%値点線で示し、また Fischerの結果を1点鎖線で示す⁸⁾。

田淵

低輝度背景（机上面照度500lx）

(a)顔面を机上面と見比べる（最適），

(b)顔面を机上面と見比べない（最適），

(c)顔面を机上面と見比べる（下限），

(d)顔面を机上面と見比べない（下限），

高輝度背景（シルエット視としての）

(e)ややよい（累積出現率90%），

(f)下限（累積出現率90%）

(g)ややよい（累積出現率50%），

(h)下限（累積出現率50%）

Fischer：A, B, C

Tabuchi et al.

Low background luminance (Desk illuminance 500lx)

(a) optimum (face luminance compared with desk luminance),

(b) optimum (face luminance not compared with desk luminance),

(c) lower limit (face luminance compared with desk luminance),

(d) lower limit (face luminance not compared with desk luminance),

High background luminance (Evaluation as silhouette)

(e) fair (cumulative appearance rate 90%),

(f) lower limit (cumulative appearance rate 90%),

(g) fair (cumulative appearance rate 50%),

(h) lower limit (cumulative appearance rate 50%),

Fischer：A, B, C

図2 背景輝度に対する好ましい顔面輝度（田淵らとFischerの比較）

Fig.2 Preferred face Luminance to background luminance (Tabuchi et al. and Fischer).

図2は、

- (1) 既報とFischerの結果の傾向は全体を通じて非常によく似ており、全ての評価区分の曲線群は、ある変曲点を境にして、低輝度背景の場合と高輝度背景の場合の傾向が大きく異なっている。ただし変曲点の値はお互いに多少異なっている。
- (2) 高輝度背景では、所要顔面輝度は背景輝度に対してほぼ比例的（勾配が0.85）に増加し、全ての評価区分の直線はほぼ平行である。
- (3) 低輝度背景では、各評価区分の所要顔面輝度はほぼ一定である。ただしFischerの場合は一定であるが、既報の場合は微増していることを示す。

3. ビジビリティレベルの概要

前報⁴⁾で引用したCIE資料¹⁾のビジビリティレベルの定義を略述する。（ただし記号は本報の記述に併せて変えてある）：

1. visibility reference task（以下“参照視標”と訳す）として円板（視角4分）を任意の輝度 L で1/5秒間提示して輝度弁別閾 ΔL_t を求め、対比閾 $C_t = (L_t/L)$ の曲線を、standard visibility reference function（“標準見え方参照関数”と訳す） V_s と定める。
2. 実際の照明設備において、所与の視標T(task)の輝度が L_T 、背景に対する対比が C_T であるとする。
3. 輝度 L_T における標準見え方参照関数の値（以下“標準対比閾”という） $C_{tT} [= (V_s(L_T))]$ を求める。
4. (背景に対する)対比 C_T の視標の見え方は、標準対比閾 C_{tT} に対する倍数

$$a = \frac{C_T}{C_{tT}} \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる。

次に、背景輝度による等価光幕輝度が、対象と背景の見え方に及ぼす影響^{12)~14)}は、以下のとおりである。

図3に示すように、視標Tの背景が直接の背景〔“直背景”D (direct background) といふ〕と、これを囲む離れた背景〔以下“辺背景”P(peripheral background) といふ〕に分かれているとする。視標輝度を L_T 、直背景輝度を L_D 、辺背景輝度を L_P 、視標輝度と直背景輝度の差を $\Delta L_T = |L_T - L_D|$ とする。辺背景輝度 L_P の眼球内で散乱して一様に網膜上の像に重畳する等価光幕輝度 L_V （付録参照）により輝度弁別閾が増加して、直背景輝度 L_D と等価光幕輝度 L_V の和 $L_D' = (L_D + L_V)$ に対する輝度弁別閾（以下“有効輝度弁別閾” といふ） $\Delta L_{tT}'$ は

$$\Delta L_{tT}' = L_t(L_D') \dots\dots\dots (2)$$

となる^{12)~14)}ここで、輝度差 ΔL と対比 C の関係は

$C = L/L$ であるから、有効対比閾 C_{tT}' は

$$C_{tT}' = \frac{\Delta L_{tT}'}{L_D + L_V} \dots\dots\dots (3)$$

となる。

辺背景輝度 L_P が0の場合には、式(1)より、

$$a = \frac{C_T}{C_{tT}} = \frac{\frac{\Delta L_T}{L_D}}{\frac{\Delta L_{tT}}{L_D}} = \frac{\Delta L_T}{\Delta L_{tT}}$$

図3 視標と背景の見え方

Fig.3 Arrangement of a visual target and its backgrounds.

$$= \frac{L_T}{L_{tT}} \dots\dots\dots(4)$$

である。等価光幕輝度 L_V が存在する場合には、視標と直背景の両方に等価光幕輝度 L_V が重畳するから、視標と直背景の見かけの対比 C_T' は、

$$C_T' = \frac{(L_T + L_V) - (L_D + L_V)}{L_D + L_V} \\ = \frac{\Delta L_T}{L_D + L_V} \dots\dots\dots(5)$$

となる。ビジビリティレベル a' は、

$$a' = \frac{C_T'}{C_{tT}'} \dots\dots\dots(6)$$

となる。これはまた、

$$a' = \frac{\frac{\Delta L_T}{L_D + L_V}}{\frac{\Delta L_{tT}'}{L_D + L_V}} \\ = \frac{\Delta L_T}{\Delta L_{tT}'} \dots\dots\dots(7)$$

とも表される。

4. ビジビリティレベルの評価検討

以下に行うビジビリティレベルの適用性の確認は、同じ見え方が得られる場合の顔面輝度は背景輝度によって非常に異なっているにも係わらず、ビジビリティレベルはほとんど同じ値になることを示すことによって行う。

顔面の表情の認識条件は、まだ定説化されてはいないが、額や頬などの顔面の広い部分（以下“顔面の地”という）に対して“目鼻だち”特に“目元”がはっきり見えることか、あるいは皮膚の微妙な状態を知るために、顔面における僅かでなだらかな輝度変化が識別できることが必要であると考えられる。

顔面における微小部分を想定して以下“局所領域”という。局所領域と顔面の反射率差を仮に想定して Δr_F 、輝度差を ΔL_F とすれば、輝度対比 $C_F = \Delta L_F / L_F$ は反射率対比 $\Delta r_F / r_F$ に等しく、これは一定の値であるから k と表せば、

$$\Delta L_F = k L_F \dots\dots\dots(8)$$

となる。

局所領域の対比のビジビリティレベルを、図1を図3と対照して求める。なお視標、対象あるいは背景という用語で指定される面は、取り扱う事柄によって異なり、図1の場合では顔面全体が対象であり、「顔面の背景」が背景であるが、図3の場合では、顔面の地が直背景、局所領域が視標に相当し、「顔面の背景」が辺背景に相当する。

局所領域の対比 ΔC_F のビジビリティレベル a' は、式(6)より、

$$a' = \frac{C_T'}{C_{tT}'} \\ = \frac{C_F'}{C_{tF}'} \\ = \frac{\frac{\Delta L_F}{L_F + L_V}}{\frac{C_{tF}'}{k_{tF}}} \\ = \frac{L_F + L_V}{C_{tF}'} \dots\dots\dots(9)$$

となる。 C_{tF}' は顔面輝度 L_F と等価光幕輝度 L_V の和に対する有効

輝度対比値とする。ただし定義により、ビジビリティレベルの最小値は1であるから、

$$k \geq \frac{C_{tF}'(L_F + L_V)}{L_F} \dots\dots\dots(10)$$

を満たすように大きくなくてはならない。

図2より、低輝度背景の輝度変化範囲 (cd/m^2) のほぼ下端(1)および上端(30)、高輝度背景のほぼ下端(500)および上端(16,000)における所要顔面輝度を読み取り、これらより以下のような等価光幕輝度、(等価光幕輝度/顔面輝度)、{顔面輝度/(顔面輝度+等価光幕輝度)}、(顔面輝度+等価光幕輝度)に対する有効輝度弁別閾などを求め、さらにビジビリティレベルを求めて表1に示す。なお表中のビジビリティレベルは定数 k を含んでいるが、前述のように、異なる照明条件下におけるビジビリティレベルの異同のみが問題であるので、その絶対値は問題でなく差し支えない。

この表は以下のことを示す。

- (1) 低輝度背景では、背景輝度の下端および上端における顔面輝度の最適値および下限値が示すように、同じ評価区分に対する顔面輝度は多少異なっているが、ビジビリティレベルではほぼ同じ値になっている。
- (2) 高輝度背景の下端および上端における、同じ評価区分の顔面輝度は非常に異なっているにも係わらず、ビジビリティレベルでは、評価区分「ややよい」(累積出現率90%)においてかなり(3.6 k)異なるものの、最大2.6 k 程度異なるだけで、かなり近い値となっている。
- (3) 低輝度背景における「下限」と、高輝度背景における「下限」(累積出現率90%値)は、双方の曲線がほぼ連続しているので、ビジビリティレベルの低輝度背景における「下限」の上端値(6.2 k)と高輝度背景における「下限」(累積出現率90%値)の下端値(5.7 k)はほぼ同じである。
- (4) 表1における最小のビジビリティレベルは、3.2 k である。したがって前述により、この研究範囲における限りでは、 $k \geq 1/3.2 \dots\dots\dots(11)$

でなければならない。

上記より、

- (1) 高輝度背景の場合：

顔面輝度は背景輝度に対してほぼ比例的に増加することに関して、背景による等価光幕輝度の及ぼす影響として、ビジビリティレベルの適用性がほぼ確認された。

- (2) 低輝度背景の場合：

低輝度背景では、顔面輝度がほぼ一定である。したがって所要顔面輝度は背景輝度に対して低下せずほぼ一定であるので、顔面と背景の輝度比は増加している。すなわち所与の見え方に対して、顔面と局所領域の間に一定の輝度比が有るだけでは不十分で、背景輝度の低下に伴って、顔面と背景の輝度比は大きくなる必要がある。それにも係わらず、ビジビリティレベルが同じ値になるということは、やはりビジビリティレベルの適用性の裏付けの一つである。

このように低輝度背景の場合と高輝度背景の場合の曲線の傾向が大きく異なっていることに対して、ビジビリティレベルの考え方によって、ほぼ妥当な説明ができる。

5. 考察

- (1) 高輝度背景における、同じ評価区分に対するビジビリティレベルが、下端値に対して上端値が最大2.6 k 程度大きくなり、特

表1 顔面所要輝度のビジビリティレベル
Table 1 Calculated visibility levels of preferred face luminances.

背景輝度区分	低				高							
	最 適		下 限		ややよい (累積出現率)				下限 (累積出現率)			
					90		50		90		50	
背景輝度 L_B (cd/m ²)	1	30	1	30	500	16,000	500	16,000	500	16,000	500	16,000
顔面輝度 L_F (cd/m ²)	49	57	7	9	58	1,200	19	360	21	410	8.7	170
等価光幕輝度 L_V (cd/m ²) ※注	0.032	0.96	0.032	0.96	15	480	15	480	15	480	15	480
等価光幕輝度 顔面輝度	6.5×10^{-4}	0.017	4.6×10^{-3}	0.11	0.26	0.40	0.79	1.3	0.71	1.2	1.7	2.8
顔面輝度+等価光幕輝度 (cd/m ²)	49	58	7.0	10	73	1,680	34	840	36	890	24	650
顔面輝度 顔面輝度+等価光幕輝度	1.00	0.98	1.00	0.90	0.79	0.71	0.56	0.43	0.58	0.46	0.37	0.26
有効輝度対比閾	0.098	0.094	0.168	0.145	0.089	0.057	0.104	0.061	0.102	0.061	0.113	0.065
ビジビリティ (局所領域の輝度対比 有効輝度対比閾)	10.3k	10.4k	5.9k	6.2k	8.9k	12.5k	5.4k	7.0k	5.7k	7.5k	3.2k	4.0k

※注 低輝度背景の場合 $L_V=3.2 \times 10^{-2} L_B$, 高輝度背景の場合 $L_V=3.0 \times 10^{-2} L_B$

に「ややよい」(累積出現率90%)においてかなり(3.6k)大きくなる理由は現段階では明らかでないが、
(a) 既報および Fischer の結果はほぼ同じ傾向を示している
で、実験結果は正しいと考えられる。
(b) 顔面の背景輝度が高くなるのに伴い、不快グレアも増大する。したがってこれを補うために、顔面輝度もビジビリティレベルを一定に保つに必要な以上にさらに高くすることが必要とされたのかもしれない。
(c) {顔面輝度/(顔面輝度+等価光幕輝度)}をみれば、低輝度背景および高輝度背景の場合ともに、同じ評価区分に対する値が、下端値に対して上端値が小さくなり、特に「ややよい」(累積出現率90%)においても、小さくなっている。それにも係わらず、ビジビリティレベルが大きくなる理由は、標準見え方参照関数の変化にも関係があるかもしれない。
(d) 標準見え方参照関数は、暗背景に対する明視標に対して作成されている。本検討では、顔面上の局所領域の輝度は増分を仮定した。しかし、実際の顔面の見え方において表情がわかるためには、目元が顔面の地に対してはっきり見えることが必要であると考えられるが、目元は顔面に対して低輝度であるので、標準見え方参照関数をそのまま適用してよいかどうかは明らかでない。
(e) 標準見え方参照関数は、所与の形状の指標に対して与えられているが、実際の顔面の例えば目元の見え方を代表する適切な形状の指標があり、これに対する標準見え方参照関数が異なるかもしれない。
(2) 上記の検討において、背景による等価光幕輝度は、顔面のほぼ中心を見ていると想定して求めているので、厳密に言えば、目は顔面において中心部にあるのではなく、中心より少し離れた位置にあるから、目を見ている場合の方が理論的には等価光幕輝度は大きくなる。しかし、別途行った検討では、仮に等価光幕輝度係数が2倍程度になったとしても、高輝度背景における、下端および上端における顔面輝度の同じ評価区分に対するビジビリティレベルは、値は当然小さくなるが、両方の差はほとんど同じであった。したがって必ずしも顔面の中心を見なくても、ビジビリティレベルの考え方は成立する。

(3) 既報⁹⁾では、「低輝度背景において、所要顔面輝度は(比較的一定であり)背景輝度に対して独立に定まる」理由は、「単純な抽象的図形(例えば光源など)の好ましい輝度が、主として背景など周囲の面との対比で定まるのに反して、人の顔は「目鼻だち」といわれるような複雑な図形で構成され、他の面の存在によって補う必要のない一つの完結した図形であり、しかも皮膚などの微妙な材質の情報が必要とされ、背景輝度がたとえ低い場合でも、輝度対比の小さな部分の微妙な相違を見分けるために、顔面輝度がある一定以上の値であることが好ましいとされるからであろう。」と解釈した。このことは、上記により、低輝度背景において所要顔面輝度は比較的一定であることが、目元を指標、顔面の地を背景とする場合の、目元の所要ビジビリティレベルが一定であることによって説明できることになる。同様に、さらに高背景輝度においても、顔面を一つの対象とみなし、目元を指標、顔面の地を直背景、顔面の背景を辺背景とみなせば、所要ビジビリティレベルは一定であることを示す。以上のことは広く、内部に地と異なる図形を有する対象(例えば、印刷紙面やディスプレイ表示面)が、高輝度部分を含む(均一でない)複雑な視野におかれている場合の所要輝度に関して、表示された細部を指標、対象面(の地)を直背景、対象外背景を辺背景と見なすことによって、対象面(の地)に対する細部の所要ビジビリティレベルを求めれば、第一近似が与えられることを示す。

付録 等価光幕輝度

周辺視野の任意の部分の輝度 $L_F(\theta, \phi)$ によって生じる等価光幕輝度は、
 K : 定数 (9.6×10^{-3})
 θ : 視線と任意の部分のなす角 (rad)
 $L_F(\theta, \phi)$: 任意の部分の輝度 (cd/m²)
として、
$$L_V = \frac{K}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_{0.0131}^{\theta} \frac{L_F(\theta, \phi)}{\theta^2} \sin\theta \cdots \cdots \cdots (A1)$$

で与えられる。

参考文献

- (1) CIE: "A Unified Framework of Methods for Evaluating Visual Performance Aspects of Lighting", CIE Publication 19 (1972)
- (2) 田渕義彦ほか:「VDT作業の照明所要条件」, 照学全大 No.114 (1985)
- (3) 田渕, 中村, 松島:「CRTディスプレイの表示文字と外部反射映像の見え方の主観評価」, 照学誌 71-2 pp.131-137 (1987)
- (4) 田渕義彦:「CRTディスプレイの表示文字の好ましい輝度比のビジビリティレベル」, 照学誌 81-8A pp.700-702 (1997)
- (5) 松田宗太郎, 田渕義彦:「明るい窓を背景にした顔の見え方」, 照学全大 No.69 (1968)
- (6) 田渕義彦:「側窓採光の事務所照明における昼光と人工光の協調の要件」, 照学誌 66-10 pp.483-489 (1982)
- (7) 田渕義彦, 松島公嗣:「在室者に必要な顔面照度に及ぼす壁面照度と机上面照度の影響」, 照学誌 77-6 pp.355-363 (1993)
- (8) 田渕義彦:事務所照明の快適性に関する研究(執務エリア内の好ましい照度と輝度), 東京大学学位論文 (1995)
- (9) Fischer, D.: "Beleuchtungsstaerken in Arbeitsraeumen", Lichttechnik 24-8 pp.411-416 (1972)
- (10) Fischer, D.: "A Luminance Concept for Working Interiors", J. Illum. Engng. Soc., 2-2 pp.92-98 (1973)
- (11) Fischer, D.: "The European approach to the integration of lighting and air-conditioning", Light. Res. and Technol. 2-3 pp.150-163 (1970)
- (12) Moon, P. and Spencer, D. E.: "The Specification of Foveal Adaptation", J. Opt. Soc. Am., 33 pp.444-456 (1943)
- (13) Holladay, L.L.: "Fundamentals of glare and visibility", J. Opt. Soc. Am., 12 p.271 (1926)
- (14) Holladay, L.L.: "Action of a light source in the field of view in lowering visibility", J. Opt. Soc. Am., 14 p.1 (1927)

(受付1997年12月2日/採録1998年3月2日)

たぶち よしひこ
田渕 義彦 (専門会員)

松下電工(株)電機エンジニアリング企画総合部

昭和16年1月28日生まれ。昭和38年3月京都大学工学部電気工学科卒業。同年4月松下電器産業株式会社に入社。照明研究所にて屋内照明理論の研究に従事。昭和48年松下電工株式会社に移籍。中央エンジニアリングセンターにおいて、屋内照明ソフトの研究開発に従事。照明開発研究所技師長、照明総合企画部技師長、中央エンジニアリング総合部副部長を経て、電機エンジニアリング企画総合部副部長(在東京)。博士(工学)。昭和48年4月照明学会研究奨励賞受賞。昭和56年6月照明学会関西支部賞受賞。平成4年5月照明学会賞受賞。日本照明委員会、日本建築学会、電気設備学会各会員。