高輝度面による順応輝度増加量の方位性への離角と年齢の影響

実効輝度関数 $F(\theta)$ の定量方法に関する検討 (その3)THE EFFECT OF THE AGE AND THE ANGLE BETWEEN THE LINE OF SIGHT
AND THE HIGH LUMINANCE-SURFACES ON DIRECTIONALITY
OF INCREASE OF ADAPTATION LUMINANCEStudy on measurements of effective luminance function $F(\theta)$ Part 3池上 陽子^{*1}, 井上 容子^{*2}, 原 直也^{*3}

Yoko IKEGAMI, Youko INOUE and Naoya HARA

For designing a visual environment where the visibility is secured, it is important to estimate the adaptation luminance under the visual field with complicated luminance distribution. Therefore, in this paper, we investigate whether the increase of adaptation luminance differs depending on azimuth angle of glare sources in the visual field between young people and elderly people.

Under the various patterns of glare sources' arrangement over the whole visual field, the luminance difference threshold of each subject is measured for the increase of adaptation luminance. These results confirm that the increase of adaptation luminance has directionality, and the tendency is different between young people and elderly people.

Keywords : Increase of Adaptation Luminance, Complicated Luminance Distribution, Directionality, Age, Position Index, Effective Luminance

順応輝度増加量, 輝度分布, 方位性, 年齢, 位置指数, 実効輝度

1. はじめに

視認問題を取り扱う上での重要課題の一つとして、不均一輝度視野における順応輝度の解明がある。著者らは、視対象の大きさによる視認性の変化から、視野内の高輝度面による減能グレアまで、輝度分布の大小にかかわらず不均一であることによって生じる現象をすべて眼球光学系が有する散乱特性に帰着させ、注視点の実刺激を実効輝度と定義し、これを用いた不均一輝度視野における視認問題の統一的解明を目指している¹⁾。

視野周辺部にある散乱源の視認性への影響は決して無視できるものではなく、そのため注視点の実効輝度の予測のためには、眼球内散乱特性(実効輝度関数 $F(\theta)$)を注視点近傍だけでなく視野全域について明らかにしておくことが重要である。主要変数として視刺激を決定する物理的要因に散乱源の視野内での位置(方位角 φ と離角 θ)、分光分布がある。ヒトの視覚に関わる要因は多岐にわたるが、観察者の散乱現象に対する個人差を視力と年齢で説明したいと考えている。これらの影響を明らかにしたうえで、標準的な実効輝度関数 $F(\theta)$ の提案を行う。

本報(その1)²⁾では、視野全域での $F(\theta)$ を求める上で、高輝度面による順応輝度の増加量 ΔL_a を用いる事の妥当性を検証し、加えて、

離角 θ が 11 度以下の範囲での ΔL_a の加法性の成立と無方位性を示している。本報(その2)³⁾では、離角 θ が 10~90 度の範囲での加法性の確認を行っている。本報(その3)では、 θ が 10~90 度の範囲での ΔL_a の方位性の影響を、年齢と離角との関係から検討する。

高輝度面による順応輝度の増加、即ち、減能グレアに関しては多くの報告があるが、方位性に関する知見は殆ど無い。L.L. Holladay⁴⁾は離角 $\theta=7.5$ 度では方位性はないという本報(その1)²⁾と同様の報告をしているが、W. S. Stiles 等⁵⁾(離角 $\theta=1.0\sim10$ 度)、B. H. Crawford 等⁶⁾(離角 $\theta=1.03\sim19.7$ 度)は方位性の検討を行っていない。CIE General Disability Glare Equation⁷⁾($0.1<\theta<100$ 度)にも方位に関する変数は含まれていない。

一方、不快グレアにおいては高輝度面位置が評価変数に組み込まれている。Luckiesh, S.K. Guth⁸⁾は視野上部における方位性をポジショニングインデックスとして示し、これは今日の不快グレア評価の重要変数である。近年では、視野下部や高齢者についての検討も行われている^{9)・12)}。

減能グレアは、主に、眼球内散乱光による中心窩への作用であり、視認性の評価である。不快グレアは高輝度面等によるまぶしさ感や不快感の評価である。評価内容は異なるが、減能グレアと不快グレアは

本論文で分析に用いているデータの一部は、2007建築学会近畿支部研究報告会¹³⁾と6th Lux Pacifica¹⁴⁾にて公表したものである。

*1 奈良女子大学大学院 大学院生・修士(工学)

*2 奈良女子大学大学院生活環境科学系 教授・工博

*3 関西大学環境都市工学部 准教授・博士(工学)

Graduate Student, Graduate School, Nara Women's Univ., M. Eng.

Prof., Division of Life and Environmental Sciences, Nara Women's Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai Univ., Dr. Eng.

図 2 実験装置

(図 3(b)、(c)中のアルファベットは高輝度面の離角の位置を示す。また、角度は方位角を示し、注視線を軸とした回転角である。視野真上方向を 0°とする。視野右側が正、左側が負である。)

ともに高輝度面による視覚への作用であり、眼の構造や顔の形状に起因するものである。したがって、実効輝度関数 $F(\theta)$ の提案に際して、幅広い年齢層に対する方位性の検討が重要であると考え、本報では若齢者と高齢者について方位性の検討を行う。

2. 離角 θ と方位角 φ

離角 θ と方位角 φ は、図 1 に示すように定義する。離角 θ は、目の位置に対して視野中心と高輝度面とのなす頂角である。方位角 φ は、視線（視野中心軸）に対する回転角であり、真上を 0°、真下を 180° とし、左をマイナス、右をプラスとする。

高輝度面には大きさがあるので、離角の表示には、離角範囲、後述の表 2 と表 4 に示す離角記号(A、C、D、I)、または高輝度面中心の離角（中心離角）を用いる。方位の表示には、高輝度面中心の方位角を用いる。

また、実験視野には方位の異なる複数の高輝度面を同時に呈示するので、その場合の方位の表示には、高輝度面配置領域の方位角範囲または配置領域中心の方位角（中心方位角）を用いる。

尚、本論文における中心角はすべて両端角度の算術平均値で表示している。

3. 実験概要

検討は 2 段階で行う。検討 1 では、離角一定で、上下左右 4 方位

に関して検討する。検討 2 では、上下 2 方位について、離角の影響を検討する。

実験は全て、輝度差弁別閾値の測定である。実験装置、閾値の測定方法、順応輝度増加量の算出方法など、実験・検討手法は本報(その 2)³⁾と同様であるので、ここでは概要のみを記す。

3.1 実験装置

実験装置を図 2 に示す。離角の変化が明確に示される断面の等距離射影図を併記している。表 2 と表 4 の実験視野の表示にはこの等距離射影図を用いている。装置は暗室内に設置している。近接背景および視対象呈示装置と、高輝度面呈示装置とからなる。使用光源は全て蛍光灯(4200K、FLR 40 S W / M、FHP 45 EW)である。

高輝度面は、図 2(b)、図 2(c)に白抜きで示した位置(離角 $\theta=10.1^\circ \sim 90^\circ$)に配置され、任意の組み合わせで呈示可能である。

近接背景(半径 5.1°)および視標は輝度が均一な円である。視標輝度は、近接背景輝度より高い。被験者は高輝度面呈示装置に設けられた開口を通して、近接背景と視対象を観察する。開口までの視距離は 90 cm である。

3.2 実験条件と被験者

高輝度面輝度は 8500 cd/m^2 の 1 条件、近接背景輝度は $1.0 \sim 10 \text{ cd/m}^2$ の範囲で 4 条件である。高輝度面から視標面上にかかる散乱光は同様であるとして分析するため、視標は十分に小さい必要がある。本検討では、被験者の両眼視力(0.1~1.5)を勘案して半径 4 分と 8 分の視標を用いる。高輝度面の影響を把握するために高輝度面非呈示時の輝度差弁別閾値も、近接背景輝度 $1.0 \sim 300 \text{ cd/m}^2$ の範囲で測定している。測定回数は、高輝度面条件では各条件 3~5 回であり、高輝度面非呈示条件では 5~10 回である。

被験者は、若齢者(平均視力 0.85)と高齢者(平均視力 0.95)であり、被験は両眼視で行っている。尚、高齢者に白内障の手術歴はなく、2 名は実験開始 2~3 か月前に白内障でないことが診断されており、残り 3 名にも白内障の自覚症状はない。視力の測定には、視力測定器スクリーンスコープ SS-3(視力 1.5 まで測定可能)を用いている。

(a) 検討 1：上下左右の高輝度面方位の影響¹⁴⁾

被験者と実験条件を表 1 に示す。被験者は 22~27 歳の若齢者 5 名(両眼視力 0.1~1.0)と 66~72 歳の高齢者 5 名(両眼視力 0.8~1.2)の 10 名である。

表 2 に検討 1 の高輝度面条件(D9~D12)を示す。高輝度面の方位は上下左右(中心方位角 $\varphi=0^\circ, 180^\circ, -90^\circ, 90^\circ$)の 4 条件である。各条件、方位角 30° 間隔で 4 面の高輝度面が放射状に配置されている。離角

表 1 被験者および呈示条件 (検討 1)

被験者 氏名	被験者				高輝度面非呈示			高輝度面呈示			
	性別	年齢	両眼視力	被験状況	視標半径 [°]	近接背景輝度 [cd/m ²]	試行回数	視標半径 [°]	近接背景輝度 [cd/m ²]	高輝度面呈示条件	試行回数
細編組	Y.I.K.	女	27	0.1	裸眼	4,	2.0, 3.5, 6.0, 10, 30, 100, 300	6 ? 10	4	2.0, 3.5, 6.0, D9 ? D12	3 ? 5
	S.S.		22	0.3							
	Y.I.C.	男	23	0.6							
	Y.T.		23	0.9							
	H.N.	女	23	1.0	裸眼	16,	10	4	6.0, 10, D12	5	
超細編組	K.M.	女	66	0.8							
	F.H.		70	0.8							
	E.U.	男	70	1.0							
	I.M.		72	1.0							
	T.H.	女	71	1.2							

表 2 高輝度面条件 (検討 1)

離角 θ	記号	D	
	角度 [°]	35.4～51.2 (中心離角:43.3)	
中心方位角φ[°]		0, 180, -90, 90 (高輝度面を30°間隔で4面配置)	全方位12面配置
等距離射影図 (立体角ω [sr])	<div><div>D9</div><div>D10</div><div>D11</div><div>D12</div></div>		<div>D</div>
	(0.089)		(0.267)

は D (θ=35.4~51.2°, 中心離角 43.3°) の 1 条件のみである。

(b) 検討 2 : 上下 2 方位における離角の方位性への影響¹³⁾

本報(その 2)³⁾の加法性の検討に用いた結果である。被験者と実験条件を表 3 に示す。被験者は両眼視力 1.0~1.5 の 21~33 歳の若齢者 10 名で、被験条件で 5 名ずつの 2 グループに分かれる。

表 4 に検討 2 の高輝度面条件を示す。離角は視野近傍から周辺までの 4 段階、A(中心離角 12.7°)、C(中心離角 29.5°)、D(中心離角 43.3°)、I(中心離角 70.6°)とし、全 24 条件である³⁾。離角 A と C では、方位角 60° 間隔で 3 面の高輝度面が放射状に配置されており、D と I では方位角 30° 間隔で 6 面配置されている。

3.3 実験手順

順応時間および視野設定時間の合理的短縮のために、実験は近接背景輝度毎に複数セッションに分けて実施し、同一セッション内では、高輝度面は散乱光量の少ない離角の大きな条件から呈示している。1 セッションの被験時間は概ね 1 時間未満であり、同一日に複数被験する場合は、1 時間以上の休憩時間を設けている。また、同一日に同一条件は被験させていない。

- ①被験者は観察位置に着席し、目を閉じて 3 分間暗順応する。
- ②呈示視野(視標輝度=近接背景輝度)に 1 分間順応する。
- ③被験者自身が視標の輝度をゆっくりと上げ、視標と背景とがかわらうじて判別できる状態に調整する(この時の視標と背景の輝度差を、呈示視野での輝度差弁別閾値とする)。
- ④視標輝度を近接背景輝度まで下げ、20 秒順応(験者はこの間に視標寸法を変更)した後に、③を繰り返す。
- ⑤閉眼して暗順応(1~3 分間、験者はこの間に高輝度面条件を変更)した後に、②~④を繰り返す。

表 3 被験者および呈示条件 (検討 2)

グループ名	被験者				高輝度面非呈示			高輝度面呈示					
	氏名	性別	年齢	両眼視力	被験状況	視標半径 [°]	近接背景輝度 [cd/m ²]	試行回数	視標半径 [°]	近接背景輝度 [cd/m ²]	高輝度面呈示条件	試行回数	
グループ1	Y.Ko.	男	22	1.5	コンタクト	4, 8, 16, 128	1.0, 2.0 5.0, 10 30, 100 300	5	4, 8	1.0 2.0 5.0 10	A3~A8, C3~C8	5	
	N.N.	男	22	1.5	裸眼								
	Y.SK.	女	21	-									
	S.Y.	男	22	-									
	H.K.	男	33	-									コンタクト
グループ2	Y.Na.	男	22	1.0	裸眼	4, 8, 16, 128	2.0, 3.5 6.0, 10 30, 100 300	10	4, 8	2.0 3.5 6.0 10	A3~A8, D3~D8, I3~I8	5	
	H.H.		23	1.2									
	S.T.		22	1.5									コンタクト
	Y.Ni.		22										
	K.K.		23										

表 4 高輝度面条件 (検討 2)

離角 θ	記号 角度 [°]	A	
		10.1~15.4 (中心離角:12.7)	
中心方位角φ[°]		60, 120, 180, -120, -60, 0 (高輝度面を60°間隔で3面配置)	全方位6面配置
等距離射影図 (立体角ω [sr])
		(0.030)	(0.060)
離角 θ	記号 角度 [°]	C	
		23.6~35.4 (中心離角:29.5)	
中心方位角φ[°]		60, 120, 180, -120, -60, 0 (高輝度面を60°間隔で3面配置)	全方位6面配置
等距離射影図 (立体角ω [sr])
		(0.060)	(0.120)
離角 θ	記号 角度 [°]	D	
		35.4~51.2 (中心離角:43.3)	
中心方位角φ[°]		90, 150, -150, -90, -30, 30 (高輝度面を30°間隔で6面配置)	全方位12面配置
等距離射影図 (立体角ω [sr])
		(0.133)	(0.267)
離角 θ	記号 角度 [°]	I	
		51.2~90.0 (中心離角:70.6)	
中心方位角φ[°]		75, 135, -165, -105, -45, 15 (高輝度面を30°間隔で6面配置)	全方位12面配置
等距離射影図 (立体角ω [sr])
		(0.336)	(0.671)

4. 順応輝度増加量

図3に輝度差弁別閾値 ΔL_{th} の測定結果の一例を示す。高輝度面条件A8($\theta=10.1\sim 15.4^\circ$, $\varphi=-60\sim 60^\circ$)の結果を、高輝度面非呈示時の結果と比較して示している。高輝度面が視野内に存在すると同一近接背景輝度での輝度差弁別閾値は上昇する。

高輝度面による順応輝度増加量 ΔL_a は、同じ輝度差弁別閾値が得られる高輝度面呈示時と非呈示時の近接背景輝度の差である。順応輝度増加量は、近接背景輝度 L_b には依存せず、高輝度面条件毎に唯一つに定まる²⁾³⁾。従って、高輝度面呈示時の回帰曲線は、非呈示時の近接背景輝度 $L_b=\Delta L_a$ での ΔL_{th} に漸近する。

この関係を式1に示す二次曲線で近似し³⁾、順応輝度増加量 ΔL_a を算出する。高輝度面非呈示の場合は $\Delta L_a=0$ である。

図3 輝度差弁別閾 ΔL_{th} の測定結果と順応輝度増加量 ΔL_a
(被験者 Y.Ni.、高輝度面 A8($\theta=12.7^\circ$, $\varphi=0^\circ$)、視標 4', 8')

表5 単位輝度単位立体角あたりの順応輝度増加量 ΔL_a (高輝度面条件 D9～D12)

被験者		若齢者 Y.I.K.	若齢者 S.S.	若齢者 Y.I.C.	若齢者 Y.T.	若齢者 H.N.	
若齢者	高輝度面 離角条件 D (35.4 - 51.2°)						
	上下比	$\Delta L_a(D10) / \Delta L_a(D9)$	0.89	0.50	2.85	1.79	3.27, 3.3%
	左右比	$\Delta L_a(D12) / \Delta L_a(D11)$	0.59	1.03	0.52	1.10	0.90
	上と左右平均	$Ave(\Delta L_a(D11), \Delta L_a(D12)) / \Delta L_a(D9)$	1.92	0.72	3.02	1.50	3.15, 左: 2.1%・右: 8.9%
	下と左右平均	$Ave(\Delta L_a(D11), \Delta L_a(D12)) / \Delta L_a(D10)$	2.15	1.44	1.06	0.84	0.96
被験者		高齢者 K.M.	高齢者 H.F.	高齢者 E.U.	高齢者 I.M.	高齢者 T.H.	
高齢者	高輝度面 離角条件 D (35.4 - 51.2°)						
	上下比	$\Delta L_a(D10) / \Delta L_a(D9)$	4.62, 0.7%	1.14	2.10, 0.7%	1.90	2.27, 1.3%
	左右比	$\Delta L_a(D12) / \Delta L_a(D11)$	0.81	0.72	0.94	0.92	0.73, 8.5%
	上と左右平均	$Ave(\Delta L_a(D11), \Delta L_a(D12)) / \Delta L_a(D9)$	3.42, 左: 1.9%・右: 3.2%	1.10	1.77, 左: 1.4%・右: 2.4%	1.80, 左: 5.8%・右: 9.6%	2.13, 左: 0.5%・右: 3.6%
	下と左右平均	$Ave(\Delta L_a(D11), \Delta L_a(D12)) / \Delta L_a(D10)$	0.74	0.96	0.84	0.94	0.94

表6 各年齢層の順応輝度増加量 ΔL_a の方位性 (中心離角 $\theta=43.3^\circ$)

プロットとt検定の有意確率は、白抜きが表5の各年齢層5名の平均値、塗りつぶしが、各年齢層5名の方位角 90° と 270° を平均した値

$$\log \Delta L_{th}(\alpha) = a \cdot (\log(L_b + \Delta L_{ag}))^2 + b \cdot \log(L_b + \Delta L_{ag}) + c(\alpha) \quad \cdot \cdot (1)$$

但し、 $\Delta L_{ag} = \Delta L_a \cdot L_g \cdot \omega$

L_b : 近接背景輝度、 α : 視標寸法、 $a, b, c(\alpha)$: 定数、 L_g : 高輝度面の輝度、 ω : 高輝度面の立体角、 ΔL_a : 単位輝度単位立体角あたりの順応輝度増加量、 ΔL_{ag} : 高輝度面による順応輝度増加量

5. 上下左右の高輝度面方位の影響 (検討 1)

表 5 に D9~D12(表 2)による順応輝度増加量 ΔL_a を被験者別に示す。上下比 = $\Delta L_a(D10) / \Delta L_a(D9)$ 、左右比 = $\Delta L_a(D11) / \Delta L_a(D12)$ 、上下各々と左右の平均値(Ave($\Delta L_a(D11)$, $\Delta L_a(D12)$))の比、および各組み合わせで 10%以下の有意確率(N=3~5)を記している。

対数輝度差弁別閾値 $\log(\Delta L_{th})$ の標準偏差(N=3~5)は、全条件の 80%で、0.15 以下である。そこで、比が 1.40(≒ $10^{0.15}$)以上またはその逆数の 0.70(≒ $1/10^{0.15}$)以下の場合を、2 方位間で明らかに差があると判断している。

視野上部と視野下部の高輝度面については、上部よりも下部の高輝度面による順応輝度増加量が明らかに大きいとみなせる比 1.40 以上は若齢者 3/5 名、高齢者 4/5 名である。下部よりも上部の方が明らかに大きい被験者は、比 0.50 の若齢者 1/5 名のみである。上部よりも下部の方が、順応輝度増加量は大きいと考えられる。

左部と右部で明らかに差があると判断される比 0.70 以下は、若齢者 2/5 名のみであり、比 1.40 以上はいない。必ずしも左右対称とは限らず、今回は左部の方が大きい被験者が多いが、利き目との関係は認められない。

左右平均と上部では、上部よりも左右平均の順応輝度増加量が明らかに大きいとみなせる比 1.40 以上は若齢者 4/5 名、高齢者 4/5 名であり、比 0.70 以下はいない。上部よりも左右平均の方が、順応輝度増加量は大きいと考えられる。

左右平均と下部では、若齢者では 3/5 名は差異が小さいが、残

りの 2/5 名は比 1.40 以上であることから、下部よりも側部の方が順応輝度増加量は大きいと考えられる。高齢者では、比が 1.0 未満の 0.74~0.96 であり、左右平均と下部には殆ど差異がない。

表 6 に、上部(方位角 $\varphi=0^\circ$)の順応輝度増加量を 1.0 とした場合の、左、右、左右平均、下の各位置の順応輝度増加量の相対値(上部との比)の年齢層別平均値と標準偏差、ならびに 10%以下の有意確率を示す。若齢者は横≧下>上、高齢者は横≧下>上という上述の傾向が明瞭に示されている。

6. 離角の方位性への影響 (検討 2) : 上下比の離角による変化

表 7 に各高輝度面条件(表 4)による各被験者の順応輝度増加量 ΔL_a 、増加量の上下比、各条件間の有意確率を示す。有意確率は、検定条件間を結ぶ矢印の線種で示している。尚、ここでは、(1)式から順応輝度増加量を求めるにあたり、順応輝度増加量は視標寸法には関係なく、高輝度面条件毎に定まるという知見⁹⁾を適用している。

上下比の算出には、各離角での最下部(中心方位角の絶対値が最大)と最上部(中心方位角の絶対値が最小)の高輝度面条件で得られる順応輝度増加量を用いている。ただし、離角 D では上下比を求めている。上下比は全被験者 1.0 以上であり、検討 1 と同様に、上部よりも下部の方が、順応輝度増加量が大きい。尚、表 7 に示す結果には、側部と上部または下部を比較できる条件はない。

上下比と離角との関係を被験者グループ別に図 4 に示す。離角が小さいと比はほぼ 1.0 であり方位性は殆どみられないが、離角が大きくなるに従い比は大きくなり、方位性が明瞭になる。但し、離角が大きくと、表 7 に示すように順応輝度増加量は急激に小さくなるため、離角が大きい場合の上下の順応輝度増加量の差は僅かである。

7. 順応輝度増加量の位置指数 P ΔL_a (若齢者 15 名の場合)

本報での順応輝度増加量 ΔL_a は高輝度面による眼球内散乱光の注

表 7 単位輝度単位立体角順応輝度増加量 ΔL_a (高輝度面離角 θ : A~I)

<高輝度面離角条件> グループ 1 ■ : A, ▲ : C		グループ 2 ■ : A, ▲ : D, ● : I		<有意水準> ⇔ : 1%以下, ⇔ : 5%以下, ⇔ : 10%以下		
若齢者 グループ 1	被験者	若齢者 Y.Ko.	若齢者 N.N.	若齢者 Y.SK.	若齢者 S.Y.	若齢者 H.K.
	高輝度面 離角条件 A,C (離角 A: 10 - 15° 離角 C: 24 - 35°)					
	上下比 $\Delta L_a(A5) / \Delta L_a(A8)$ $\Delta L_a(C5) / \Delta L_a(C8)$	1.13 1.25	1.14 1.95	1.19 1.30	1.07 0.91	1.14 1.29
若齢者 グループ 2	被験者	若齢者 Y.Na.	若齢者 H.H.	若齢者 S.T.	若齢者 Y.Ni.	若齢者 K.K.
	高輝度面 離角条件 A,D,I (離角 A: 10 - 15° 離角 D: 35 - 51° 離角 I: 51 - 90°)					
	上下比 $\Delta L_a(A5) / \Delta L_a(A8)$ $\Delta L_a(I5) / \Delta L_a(I8)$	1.19 4.48	1.15 8.47	1.00 2.21	1.30 1.82	1.07 2.71

図4 上下の順応輝度増加量比と離角

上下比は、離角 A では $\Delta La(A5) / \Delta La(A8)$ 、離角 C では $\Delta La(C5) / \Delta La(C8)$ 、離角 D では $\Delta La(D10) / \Delta La(D9)$ 、離角 I では $\Delta La(I5) / \Delta La(I8)$ である。

表8 高輝度面の単位輝度単位立体角あたりの順応輝度増加量 ΔLa

○：高輝度面の ΔLa ，■：高輝度面条件の ΔLa

視点への重量量であることから、注視点の実刺激である実効輝度の増加量である。従って、順応輝度増加量への高輝度面位置の影響を示す位置指数は実効輝度の位置指数でもある。ここでの位置指数とは、式2に示すように離角 θ 毎に、最も 0° に近い方位角 φ_0 の順応輝度増加量 $\Delta La(\theta, \varphi_0)$ を 1.0 とした相対値である。

$$P_{\Delta La}(\theta, \varphi) = \frac{\Delta La(\theta, \varphi)}{\Delta La(\theta, \varphi_0)} \quad \dots \dots (2)$$

表8に高輝度面毎の順応輝度増加量の算出結果を、比較的方位性が明瞭なものを例に示している。本報で得られた方位性に関する知見と、離角 90° 以内での任意の高輝度面位置における順応輝度増加

図5 順応輝度増加量の方位指数 $P_{\Delta La}$ (検討1,2の若齢者15名)

■：離角 12.7° (高輝度面離角条件 A) △：離角 29.5° (高輝度面離角条件 C)
▲：離角 43.3° (高輝度面離角条件 D) ●：離角 70.6° (高輝度面離角条件 I)

量の加法性^{1)・3)}を適用して算出している。加法性の適用とは、例えば式3に示すように、中心離角 $\theta=12.7^\circ$ 、方位角 $\varphi=-60^\circ, 0^\circ, 60^\circ$ の3つの高輝度面による順応輝度増加量の合計は、高輝度面条件 A5 (中心離角 $\theta=12.7^\circ$ 、方位角 $\varphi=-60^\circ \sim 60^\circ$) の順応輝度増加量となるとして算出することである。表8には、表5、表6に示す高輝度面条件毎の順応輝度増加量も併記している。高輝度面毎の順応輝度増加量は、複数の高輝度面で構成されている高輝度面条件毎の場合より、方位性が明瞭になる。

$$\Delta La(A5) = \Delta La(12.7^\circ, -60^\circ) + \Delta La(12.7^\circ, 0^\circ) + \Delta La(12.7^\circ, 60^\circ) \dots (3)$$

図5に検討1と検討2の若齢者15名による位置指数 $P_{\Delta La}$ を示す。個人毎に位置指数を求め、これを平均したものである。離角が大きくなるほど方位による差異が大きくなり、また、上部での変化が下部よりも大きいという傾向が明瞭に示されている。

8. 不快グレアのポジションインデックスとの比較

冒頭に述べたように、減能グレアと不快グレアでは評価内容が異なるが、発生源 (高輝度面) と誘発源 (眼の構造・顔の形状) を同じくするものであるため、両者の方位性について比較する。

岩田ら^{9)・10)}は若齢者と高齢者について離角 θ が 31° 以内で視野上部と下部の不快グレアポジションインデックスの検討を行い、金ら¹¹⁾や石倉ら¹²⁾は若齢者について視野全域で検討を行っている。

8.1 方位角の影響

表9は、離角 A, C, D, I の中心離角 $\theta=12.7^\circ, 29.5^\circ, 43.3^\circ, 70.6^\circ$ における不快グレアのポジションインデックス^{9)・12)}を、図5に示す順応輝度増加量の位置指数 $P_{\Delta La}(\theta, \varphi)$ と比較したものである。ポジションインデックス $p(\theta, \varphi)$ も順応輝度増加量の場合と同様に、最も 0° に近い方位角 φ_0 の値を基準にして式4に示す相対ポジションインデックス P_{DG} で表す。尚、報告毎に φ_0 が異なるため、表9では各報告での方位角 $\varphi=90^\circ$ の値 ($P_{\Delta La}(\theta, 90)$ 、 $P_{DG}(\theta, 90)$) を 100 とし、更に相対化して比較している。

$$P_{DG}(\theta, \varphi) = \frac{p(\theta, \varphi)}{p(\theta, \varphi_0)} \quad \dots \dots (4)$$

若齢者では、不快グレアのポジションインデックスに関する何れの提案も側部にグレア源がある場合にグレアの程度が最も大きくなり、方位の影響が横 $\geq$ 下 $>$ 上であり、本報と同様である。

表 9 順応輝度増加量の位置指数 $P_{\Delta L_a}$ と相対ポジションインデックス P_{DG} との比較 (方位角 $\varphi=90^\circ$ の値を 100 とする)

図 6 離角の影響 (上下比)

また、高齢者では横⇨下>上であり、視野下部と側部との間に差異がみられないことも、本報と共通している。

8.2 離角の影響

図 6 は、表 9 に示す結果を用いて、離角 θ の方位性への影響について、不快グレアの結果と本報の結果を比較したものである。

不快グレアのいずれの研究においても、本報の場合と同様に、離角が大きくなるほど右上がりになる。即ち、視野周辺になるほど方位による違いが明瞭になっており、本報と同様である。

本報では、若齢者と高齢者は離角 $D(\theta=43.3^\circ)$ においてのみ可能であるが、高齢者の方が、位置指数 $P_{\Delta L_a}$ が明らかに大きく、高齢者の方が離角の方位性への影響が大きいといえる。不快グレアでも、若齢者より高齢者の方が、相対ポジションインデックス P_{DG} が大きく⁹⁾¹⁰⁾、この点についても本報の結果と同様である。

9. 高輝度面による順応輝度増加量 ΔL_a に関する知見

表 10 に、本報告で得られた順応輝度増加量 ΔL_a に関する知見(4-6)を、これまでに得ている知見と併せて示す。

方位性が生じる主たる原因は、額や頬などの顔の凹凸に加えて、前髪、まぶた、まつげが目への入射光に対する庇の役目を果たし、その効果が上下左右からの入射光に対して異なるためであると考えられる。個人差が大きいのは、これらの状態が人や年齢によってかなり異なるためであると考えられる。離角 θ によって方位角 φ の影響が異なるのは、遮蔽効果の方位差が視野中心部より視野周辺部からの入射光に対して明瞭なためであると考えられる。また、左右非対称が生じやすいのは顔等の非対称性が一因であると考えられる。

表 10 高輝度面による順応輝度増加量 ΔL_a に関する知見

(1)	輝度差弁別閾値測定に用いる視標の大きさ(十分に小さい事が前提)や背景輝度には関係なく高輝度面条件によって定まる ²⁾³⁾ 。
(2)	離角 90° 以下では任意の離角・方位角方向について、加法性が成立する ²⁾³⁾ 。
(3)	離角が大きいくほど小さくなる ²⁾ 。
(4)	高輝度面の方位によって ΔL_a は異なり、若齢者では視野上部<視野下部 $\leq$ 視野側部の順に大きくなり、高齢者では視野上部<視野側部 $\approx$ 視野下部である。
(5)	方位性は離角 10° 以下では認められず ²⁾ 、離角が 10° を超えて大きくなる程、顕著になる。
(6)	必ずしも左右対称であるとは限らない。

10. おわりに

高輝度面の離角 θ を視野中心近傍 10 度から周辺 90 度まで 4 段階に変化させて、高輝度面の方位角の順応輝度増加量 ΔL_a への影響を検討し、視野中心近くの高輝度面による順応輝度増加量に方位による違いはみられないが、視野周辺になるに従い、方位による順応輝度増加量の違いが明瞭になることを示している。若齢者は視野上部<下部 $\leq$ 側部と順応輝度増加量は大きくなるが、高齢者には下部と側部には差は見られないことを示している。

重要変数であるにもかかわらず、これまで考慮されてこなかった減能グレア(順応輝度増加量)の位置指数を視覚特性の異なる若齢者と高齢者について明らかにしている。さらに、減能グレアの位置指数と不快グレアのポジションインデックスには共通点の多いことを明らかにしている。

引き続き、視力の影響を検討する。更に、光源のスペクトル分布(光色)の順応輝度増加量への影響を検討したうえで、これら主要変数を組み込んだ実効輝度関数を提案していきたい。

謝辞

本報告に用いたデータは、関西大学 (故)野口太郎先生および同研究室の卒業生: 岩垣洋輔氏、山崎崇氏、宇田麻希子氏、桑垣内恵介氏、奈良女子大学卒業生: 鈴木恭子氏と共に取り組んだ視認実験によるものである。ここに記して深謝いたします。

尚、本研究の分析は、平成 21~23 年度日本学術振興会科学研究費補助金 基盤研究(C) 課題番号 21560612 「時間的・空間的不均一視野における個人の視能力に配慮した明視性評価システムの開発」

の一環として推進したものである。

参考文献

- 1) 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、照明学会誌、第 72 巻、第 6 号、pp.34-41、1988.6
- 2) 井上容子、野口太郎、伊藤克三：高輝度面の実効輝度への影響 実効輝度関数 $F(\theta)$ の定量方法に関する検討(その 1)、日本建築学会計画系論文集、第 473 号、pp.1-6、1995.7
- 3) 池上陽子、原直也、井上容子：視野全域での高輝度面による順応輝度増加量の加法性の検討 -実効輝度関数 $F(\theta)$ の定量方法に関する検討(その 2)-、日本建築学会環境系論文集、第 626 号、pp.431-436、2008.4
- 4) L. L. Holladay：The fundamentals of glare and visibility, Journal of the Optical Society of America and Review of Scientific Instruments, Vol. 12, No. 4, pp. 271-319, 1926
- 5) W. S. Stiles：The effect of glare on the brightness difference threshold, PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY LONDON B, Vol. 104, No. 731, pp. 322-351, 1929.3.
- 6) B. H. Crawford：The integration of the glare effects from a number of glare sources, Proceedings of the Physical Society, Vol.48, pp.35-37, 1936
- 7) 146 CIE TC 1-50 reports: CIE equations for disability glare, CIE COLLECTION ON GLARE 2002, pp. 1-12
- 8) MATTHEW LUCKIESH and S. K. GUTH: Brightnesses in Visual Field at Borderline Between Comfort and Discomfort(BCD), Illuminating Engineering, Vol.49, pp. 650-670, 1949
- 9) Toshie Iwata, Miwako Tokura：Position Index for a glare source located below the line of vision, Lighting Research and Technology, Vol. 29, No. 3, pp. 172-178, 1997.9
- 10) 山本弦、畠中章、岩田利枝、木村健一：光源の位置を考慮した高齢者の不快のグレアに関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 環境工学 I、pp.307-308、1996.7
- 11) 金源雨、古賀靖子、メロ オダレア B.C.：全視野におけるグレア光源のポジション・インデックスに関する研究、照明学会誌、第 88 巻、第 11 号、pp.847-852、2004.10
- 12) 石倉知永子、上山大輔、澤田朋克、金谷末子：屋内照明における不快グレアの研究：全視野における Position Index の起案、照明学会誌、第 90 巻、第 2 号、pp.106-109、2006.2
- 13) 宇田麻希子、池上陽子、原 直也、井上容子：複雑な輝度分布を有する視野での順応輝度に関する研究 -順応輝度増加量の方位性の検討-、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 環境工学 I、pp.475-476、2007.8
- 14) Yoko IKEGAMI, Youko INOUE, Naoya HARA：Fundamental Study on Adaptation Luminance in Visual Field With Complex Luminance Distribution: Directionality of Adaptation Luminance Increase, Proceedings of 6th Lux Pacifica, pp.17-20, 2009.4

(2012年6月8日原稿受理、2012年11月15日採用決定)