

道路照明のビジビリティレベルに関する 研究調査委員会

報 告 書

2002年3月

社団法人 照 明 学 会

まえがき

道路照明の本来の目的は、運転者が安全にかつ安心感をもって走行できる照明環境を提供することにある。これまでの道路照明設計は、主に総合輝度均斉度などによって評価されてきている。しかし、均斉度だけでは路面上に視対象物（障害物等）がある場合についての評価は必ずしも十分ではなく、運転者が安心して走行できるとは言いがたい。これに対し、ここ数年、路面上の視対象物に対する評価方法の一つである可視度（ビジビリティレベル）に対する研究が学会などで発表され、照明環境の評価がなされるようになってきている。CIE（国際照明委員会）でもこの問題は継続的に審議されており、我が国としても早急に対処しなければならない懸案の一つである。

可視度は路面上の視対象物の輝度、背景輝度、輝度差弁別閾などから算出されるが、その算出に当たっては、各研究機関などによりまちまちであるのが現状である。そこで本研究調査委員会では、可視度の計算方法を提案することで評価方法を確立することを目的に、これまでの可視度の研究をレビューし、それらを基に視対象物の大きさおよび反射率、背景輝度の算出、輝度差弁別閾の算出などを主な項目に挙げ検討することとした。

本研究調査委員会（平成12年4月～平成14年3月）は、9回の本委員会、3回の技術講演会および18回の幹事会を開催し、用語の定義、適用範囲および前述の検討項目等について審議、検討を進めた。その結果、可視度の計算条件を明確にし、計算方法を提案した。しかしながら、評価方法については資料となるデータが不足していることもあり言及することはできず、今後の課題とさせていただいた。

本報告書は、2年間にわたるこの様な活動の結果を纏めたものであり、本報告書の内容がこれからの道路照明設計の一助となれば幸いである。

委員長 小野 隆

目 次

まえがき (小野)

1. 研究調査の概要と報告書の構成	1
1.1 研究調査の目的 (魚住)	1
1.2 研究調査の経緯 (魚住)	1
1.3 報告書の構成 (魚住)	5
2. 可視度 (ビジビリティレベル) について	6
2.1 用語の定義 (魚住)	6
2.2 計算式の適用範囲と取扱い (斎藤)	6
2.3 可視度の計算式 (斎藤)	6
3. 可視度の構成要素に関する検討	10
3.1 視対象物の条件 (大谷)	10
3.2 輝度差弁別閾と補正係数 (斎藤)	11
3.3 背景輝度 (永井)	26
3.4 中心窩順応輝度 (斎藤)	28
4. 可視度計算式の運用	32
4.1 計算条件の明確化について (永井)	32
4.2 可視度計算の手順 (永井)	32
4.3 可視度計算 (永井)	33
5. 研究調査の成果と今後の課題	42
5.1 研究調査の成果 (魚住)	42
5.2 今後の課題 (魚住、大谷)	42

あとがき (成定)

1. 研究調査の概要と報告書の構成

1.1 研究調査の目的

本研究調査の目的は、道路照明における可視度（ビジビリティレベル）の考え方を明らかにし、その計算方法を統一することである。

道路照明における可視度とは、ある条件の視対象物（障害物等）が路上に存在する場合に、運転者から見て、それが視認できるか否かを計算評価するものである。この可視度を道路照明設計の中で運用していくためには、可視度の計算式や、計算の際に必要な諸条件の考え方を統一すると共に、その計算結果が実際の道路照明施設での検証と一致していなければならない。

計算方法を統一化するための手順は、第一に計算方法を明確にする。第二にその計算により得られた結果とフィールドでの検証とを比較して、その計算方法の妥当性を確認する。第三に検証と合致しなければ、その原因を調査し計算方法を修正する、という手順を繰り返し、最終的に運用できるレベルの計算方法を決定するプロセスが必要になる。

そこで本委員会では、そのプロセスの第一段階である可視度の計算方法を明確にするために、可視度の計算に必要な視対象物の大きさや反射率、背景となる大きさの範囲、輝度差弁別閾などの条件項目の抽出を行い、それらに関する過去の研究結果をレビューすることでその考え方を明らかにし、暫定的な可視度の計算方法として提案することにした。

1.2 研究調査の経緯

(1) 本委員会の構成

委員長	小野 隆	日本大学 理工学部 電気工学科
顧問	成定 康平	照明学会名誉会員
幹事	永井 涉	小糸工業(株) 照明技術部
	斎藤 孝	松下電工(株) 照明エンジニアリングセンター
	魚住 拓司	岩崎電気(株) 技術部
委員	坂本 正悦	松下電器産業(株) 公共システム本部
	武内 徹二	松下電器産業(株) 照明社
	一條 隆	東芝ライテック(株) 技術統括部
	古川 一茂	星和電機(株) 設計二部

(期間：2000年4月～2001年4月)

大谷 寛 星和電機(株) 設計部

小林 正自 (株)小糸製作所 研究所

八木 誠一郎 (株)小糸製作所 研究所

萩原 亨 北海道大学大学院工学研究科

安藤 和彦 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路研究部

林 堅太郎 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路研究部

(期間：2001年4月～2002年3月)

和田 宏生 日本道路公団試験研究所 交通環境研究部

(期間：2000年4月～2001年4月)

岡田 晃夫 日本道路公団 施設部

(期間：2001年4月～2002年3月)

浅野 秀樹 日立電線(株)総合技術研究所

溝口 重一 (株)東峯技術コンサルタント 技術第一部

津川 定之 独立行政法人産業技術総合研究所

(期間：2001年4月～2002年3月)

(2) 委員会の開催

第1回委員会

日時：2000年7月19日(金)

場所：照明学会第一会議室

議事

- ① 委員自己紹介
- ② 本委員会の主旨説明
- ③ 可視度に関する用語説明
- ④ 可視度に関する文献紹介
- ⑤ 活動内容及びスケジュールの検討

第2回委員会

日時：2000年10月12日(木)

場所：松下電工(株)

議事

① 活動内容及びスケジュールの検討

② 話題提供

可視度計算事例の紹介

「視認性に基づく道路照明設計技術についての検討」

「KSC-4による道路照明の視認性改善設計」

「器具取付間隔が道路照明施設の視認性に及ぼす影響」

松下電工(株) 照明エンジニアリングセンター 齋藤 孝

③ 技術講演会(視覚研究専門部会・視認性に関する研究調査委員会共催)

「道路付帯設備の視認性評価について」

北海道大学大学院工学研究科 萩原 亨

第3回委員会

日時: 2000年12月4日(月)

場所: 照明学会第一会議室

議事

① 可視度計算に関する検討項目の抽出

② 話題提供

「自動車前照灯関連技術について」

(株)小糸製作所 研究所 小林 正自

第4回委員会

日時: 2001年2月20日(火)

場所: 照明学会第一会議室

議事

① 可視度計算条件の検討

② 輝度差弁別閾標準カーブの検討

・ Blackwell の研究概要と課題の整理

第5回委員会

日時: 2001年5月16日(水)

場所: 照明学会第一会議室

議事

① 輝度差弁別閾値の補正係数の検討

- ・ Tunnel Entrance Lighting Pub. CIE No61 の調査

② 話題提供

(財) 高速道路調査会報告書の紹介

「トンネル照明に関する調査研究(その2) 報告書」

松下電器産業(株) 公共システム本部 坂本 正悦

③ 技術講演会

「エネルギーと環境および視覚効率をバランスさせる方法」

中京大学文学部心理学科 成定 康平

第6回委員会

日時：2001年7月17日(水)

場所：照明学会第一会議室

議事

① 輝度差弁別閾の補正係数の検討

- ・ 視認確率の補正方法について
- ・ 視対象物の補正方法について
- ・ 表示方法について

第7回委員会

日時：2001年10月12日(金)

場所：照明学会第一会議室

議事

① 輝度差弁別閾標準カーブの決定

② 路面輝度に関する検討

③ 話題提供

「道路照明のビジビリティレベルに関する研究」

岩崎電気(株) 技術部 魚住 拓司

第8回委員会

日時：2001年12月17日(月)

場所：照明学会第一会議室

議事

① 路面輝度の計算方法の決定

② 背景輝度の取り扱いに関する検討

③ 話題提供

「アスファルト舗装における路面輝度推定方法について」

東芝ライテック(株) 技術統括部 一條 隆

④ 技術講演会

「光環境における輝度の対比の定量的検討法」

東京工業大学大学院総合理工学研究科 中村芳樹

第9回委員会

日時：2002年3月27日(水)

場所：照明学会第一会議室

議事

① 報告書の内容の検討

1.3 報告書の構成

本報告書は大きく5章に分けて構成した。第1章では研究調査の目的と本委員会の委員構成及び開催内容を、第2章では用語を定義した上で計算式を示した。第3章では可視度計算に必要な項目についてその考え方や条件を決定し、それに至るまでの検討内容を示した。第4章では計算式の運用方法を示した。第5章では研究調査のまとめと今後道路照明設計で運用していくために残された課題を示した。

2. 可視度(ビジビリティレベル)について

2.1 用語の定義

ビジビリティレベルの概念を最初に導入したのは CIE のテクニカル・レポート⁽¹⁾である。近年、アメリカの道路照明基準⁽²⁾や CIE の道路照明に関する勧告⁽³⁾では、ビジビリティレベルを基礎とした道路照明の基礎を与えている。

我が国においては「可視度」と訳されていることが多い。現在のところビジビリティレベルという言葉自体に明確な用語としての定義が存在しておらず、誤解を招く恐れがあるため、本研究調査においても「可視度」として用語を統一していくものとする。

「道路照明の可視度」とは道路照明環境下においてある条件の視対象物が路上に存在し、運転者からその視対象物を視認できるか否かを判断する閾値レベルでの評価方法であり、本研究調査で適用する可視度とは、道路照明環境下に限定して取り扱うものとする。

2.2 計算式の適用範囲と取扱い

まず最初に、今回検討した可視度の適用範囲を明確にする必要がある。本委員会では適用範囲について検討した結果、以下の範囲とした。今回は標準的な環境・条件について適用できるものとし、特殊な環境・条件については、今後の課題とする。

可視度を計算する上での視環境の適用範囲は、道路（トンネルの基本部照明を含む）とした。また、道路については一般的な照明手法であるポール照明方式とし、近年検討が進んでいる照明の設置位置が著しく低い照明方式については適用外とした。これは、ポール照明方式に比べて背景輝度の輝度分布が著しく異なるため、背景輝度の取扱いを同一にすることが困難なためである。

計算式で得られる可視度は絶対値で取扱うこととした。シルエット視（可視度がプラス）の場合と逆シルエット視（可視度がマイナス）の場合とで弁別能が異なる可能性があるが、本委員会では計算式を単純化するため絶対値で取扱うこととし、シルエット視・逆シルエット視での弁別能の違いについて明確化できた段階で計算式に盛り込むこととした。

自動車前照灯の影響やフロントガラスの透過・反射特性などの取扱いについては、十分に検討できていないため、今回は特に規定せず今後の検討課題とした。

2.3 可視度の計算式

任意の点における可視度（VL）は次の式で算出される⁽¹⁾。道路照明環境における可視度

の計算の詳細については4章を参照すること。

$$VL = \Delta L / \Delta L_{min} \quad \dots \text{式 2-3-1}$$

$$\Delta L = |L_b - L_o| \quad [\text{cd/m}^2] \quad \dots \text{式 2-3-2}$$

L_b : 背景輝度 [cd/m^2]

L_o : 視対象物輝度 [cd/m^2]

ΔL_{min} : 輝度差弁別閾 [cd/m^2]

輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) は次の式で算出することができる⁽⁴⁾。

$$\Delta L_{min} = (\Delta L_{min1} + \Delta L_{min2}) \times K \quad \dots \text{式 2-3-3}$$

カッコ内の ΔL_{min1} は中心窩順応輝度によって変化する輝度差弁別閾であり、 ΔL_{min2} は背景輝度、及び等価光幕輝度によって変化する輝度差弁別閾である。 ΔL_{min1} 、 ΔL_{min2} は以下の式で求められる。

$$\Delta L_{min1} = 10^{\{0.089 \times \log(L_{af})^2 + 0.13 \times \log(L_{af}) - 1.56\}} \quad [\text{cd/m}^2] \quad \dots \text{式 2-3-4}$$

$$\Delta L_{min2} = 10^{\{\log(L_b + L_{eq}) - 1.64\}} \quad [\text{cd/m}^2] \quad \dots \text{式 2-3-5}$$

K : 6.25 (補正係数)

L_{af} : 中心窩順応輝度 [cd/m^2]

L_{eq} : 等価光幕輝度 [cd/m^2]

(1) 背景輝度 (L_b)

背景輝度 (L_b) は、視対象物を設置した位置の後方7mの部分輝度とする。

(2) 視対象物輝度 (L_o)

視対象物輝度 (L_o) は、視対象物を設置した位置の高さ0.1mの鉛直面照度 (E_v) をもとに算出する。視対象物は反射率 ρ (反射率20%の場合は0.2とする) の完全拡散としている。

$$L_o = \rho \times E_v / \pi \quad [\text{cd/m}^2] \quad \dots \text{式 2-3-6}$$

(3) 中心窩順応輝度 (Laf)

中心窩順応輝度 (Laf) は、『路面の平均輝度』を用いることとした。これは背景輝度の変化が輝度差弁別閾に及ぼす影響に比較して順応輝度の影響は極く少ないことが成定らによつて明確になったため⁽⁶⁾、運転者が視線を頻繁に走査する路面の平均輝度で十分高い精度が得られるためである。また、ここで言う『路面の平均輝度』とは、照明設計時に用いる『平均路面輝度』と異なり、その計算範囲は照明器具の設置間隔 (S) によつて異なり、俯角 1° を中心に前後に θ ずつ振り分けた範囲とする。設置間隔 (S) と振り分ける角度 (θ) との関係及び、計算範囲の前後の位置 a (器具手前側)、b (器具奥側) は以下の式に従う。

$$\theta = \tan^{-1} \left[\{-3 - 3\tan^2(1) + 9\tan^4(1) + 18\tan^2(1) + 4S^2\tan^2(1) + 9\}^{0.5} / 2S \right] [^\circ]$$

…式 2-3-7

$$a = 1.5 / \tan(1 + \theta) \quad [\text{m}] \dots \text{式 2-3-8}$$

$$b = 1.5 / \tan(1 - \theta) \quad [\text{m}] \dots \text{式 2-3-9}$$

(4) 等価光幕輝度 (Leq)

等価光幕輝度は、以下の式で算出することができる⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

$$\text{Leq} = 10 \times \text{Eg} / \theta^2 \quad [\text{cd/m}^2] \dots \text{式 2-3-10}$$

Eg : 角膜照度 [lx] (運転者と眼の位置における鉛直面照度)

θ : 視線とグレア源となる照明器具との角度 [°]

10 : 年齢その他によつて決まる定数

<参考文献>

- (1) CIE No. 19 A unified framework of method for evaluating visual performance aspects of lighting (1972)
- (2) IESNA, RP-8-00, Roadway Lighting (2000)
- (3) CIE No. 115, Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic (1981)
- (4) Narisada, K. Yoshimura, K. Adaptation luminance of driver's eyes at the Entrance of Tunnel --- an Objective Measuring Method, Transactions of the 3rd International Symposium of Road Lighting Effectiveness, Karlsruhe, on 5-6, July, 56-73 (1977)
- (5) Narisada, K. Saito, T. Karasawa, Y. Perception and road lighting design, Proceedings

of SANCI International Lighting Conference at Durban, South Africa, 83-86(1997)

(6) Holladay, L. L. The Fundamentals of glare and visibility, Jour. Opt. Soc. Am, 12(4) S.,

271-319(1926)

(7) Adrian, W. Fundamentals of physiological and psychological glare and their

numerical representation, (1975)

3. 可視度の構成要素に関する検討

3.1 視対象物の条件

道路照明環境下における視認性を検討する上で、視対象物の条件を設定する必要があり、本委員会では視対象物の寸法は一辺 20cm の正方形でその反射率は 20% とした。

視対象物は寸法、形状、反射率など多種多様であり、視認しやすいもの、視認しにくいものがある。しかし道路照明の設計では、これら条件の異なる視対象物全てについて検討することは煩雑であるため、本委員会では最も視認しにくい視対象物（限界対象物）の視認性について検討することとした。

(1) 視対象物の寸法と形状⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

一般的に、視対象物は見かけの大きさが小さいほど視認しにくい。しかし、その寸法が小さくなると、これを視認できないとしても自動車の安全走行に支障をきたすわけではない。したがって、限界対象物という観点より視対象物の寸法は、路面と自動車の車体最下部との距離である「最低地上高さ」に近いものとなり、一辺 20cm の正方形とした。

(2) 視対象物の反射率⁽³⁾

視対象物を視認するためには、視対象物とその（視覚的）背景との間に十分な輝度の差が必要である。道路照明は、照射方向が路面に対してほぼ垂直なので、視対象物の鉛直面より背景となる路面を明るく照明し、主として視対象物をシルエットで見せている。このため道路照明では、低い反射率をもつ視対象物ほど視認しやすく、高い反射率をもつ視対象物ほど視認しにくくなる。限界対象物という観点より視対象物の反射率は、存在し得る視対象物のうち「最も反射率の高いもの」を代表するように選定しなければならない。これらが視認できれば、それより反射率の低いものは全て視認できるからである。

このためには、道路上に存在し得る対象物（歩行者、落下物等）の反射率毎の存在確率を知る必要がある。図 3-1-1 は、歩行者の衣服の反射率について Smith によって調査された結果⁽⁴⁾を示すもので、反射率の低いものから累積した曲線である。同様な調査はその後芹沢らによっても行われた⁽⁵⁾が、その傾向に大きな相違はみられなかった。

図 3-1-1 の横軸にシルエット視の限界反射率をとると、それに対応する縦軸が、その限界反射率より低い反射率をもつ対象物の累積存在確率を示すことになる。ある道路照明のもとで視認できる限界対象物の反射率の累積存在確率を、その照明のレベリングパワー（Revealing Power (%)）という⁽⁶⁾。この考えを基に、90%のレベリングパワーを得ようとする、道路照明のように限界対象物が背景の路面輝度より低い輝度で視認できる場合の反射率は約 20%となる。

以上のことから、視対象物の反射率は20%として以後の検討を進めることとした。尚、道路照明施設設置基準⁽⁷⁾においても、反射率20%の物の見えを基に基準輝度の最低値を定めている。

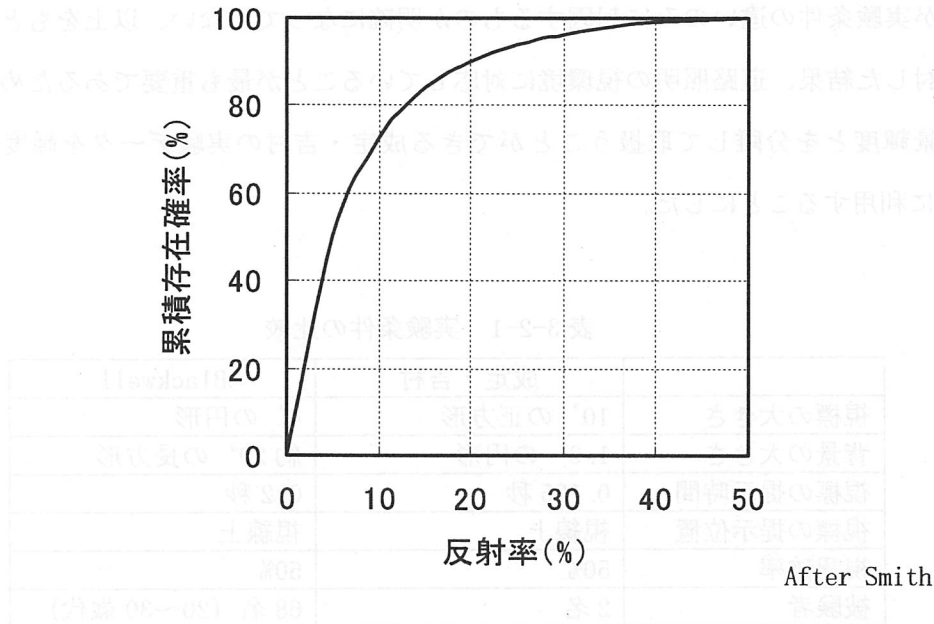


図 3-1-1 歩行者の衣服の反射率とその累積存在確率

3.2 輝度差弁別閾と補正係数

(1) 輝度差弁別閾

可視度を計算する際に使用する輝度差弁別閾について、Blackwell の研究⁽⁸⁾と成定・吉村⁽⁹⁾、成定⁽¹⁰⁾の研究を比較、検討を行った。両者の実験条件を比較した表を 3-2-1 に示す。Blackwell の研究データは被験者数も多く、人間の視特性の基本データとして CIE の報告書⁽¹¹⁾にまとめられているなど、国際的にも非常に信頼性の高いデータである。しかしながら、一様な背景上に視標を提示して輝度対比弁別閾を求める実験を行っているため、眼の順応状態と背景輝度との影響を分離して取扱うことができない。道路の視環境では、順応輝度と背景輝度が異なり、かつ等価光幕輝度が刻々と変化することから、道路照明の可視度を算出する際に使用する輝度差弁別閾は、中心窩順応輝度と背景輝度とを独立に取扱うことが不可欠である。また、非常に大きな背景を用いているため、周囲の光による等価光幕輝度の影響によって弁別能が低下していることが考えられる。一方、成定・吉村は、順応輝度と背景輝度とを分離して取扱うことを目的として実験を行っているため、道路に活用しやすいデータを得ている。被験者数が 2 名と少ないが信頼性は高く、CIE のトンネル入口照

明⁽¹⁾は成定・吉村の研究結果を基礎としている。2つのデータを比較すると実験条件が異なるにも関わらず、道路照明の輝度範囲 (0.1~4.0cd/m²) では、成定・吉村のデータを3倍することにより Blackwell のデータとよく一致することを紹介した⁽¹²⁾⁽¹³⁾。しかし、3倍の違いが実験条件の違いのみに起因するものか明確になっていない。以上をもとに本委員会で検討した結果、道路照明の視環境に対応していることが最も重要であるため、順応輝度と背景輝度とを分離して取扱うことができる成定・吉村の実験データを輝度差弁別閾 ΔL_{min} に利用することにした。

表 3-2-1 実験条件の比較

	成定・吉村	Blackwell
視標の大きさ	10' の正方形	4' の円形
背景の大きさ	1.3° の円形	約 20° の長方形
視標の提示時間	0.125 秒	0.2 秒
視標の提示位置	視線上	視線上
視認確率	50%	50%
被験者	2 名	68 名 (20~30 歳代)

成定・吉村⁽⁹⁾、これを拡張した猪野原・吉村・武内⁽¹⁴⁾の実験について以下に説明する。

観測者は、ハーフミラーを透して視角サイズ 1.3° の円形背景に、固視点の左右いずれかに視標を提示し、その視標が視認できたかを回答する。円形背景の輝度は調節できる。ハーフミラーの表面では、光源箱に設けた円形の発光パネルの光学像が反射され、視角サイズ 3° の光幕となって観測者の視野に重畳する。光幕は観測の際、瞬間的に点滅できるようになっている。またその輝度も調節可能である。背景輝度の視角サイズが非常に小さいのは、背景輝度による等価光幕輝度の発生を防ぐためである。視標を提示する際には、視野の輝度の急変に伴うマスキング効果を防ぐように工夫されている。

(図 3-2-1 に実験装置の概要、図 3-2-2 に視標の概要を示す)

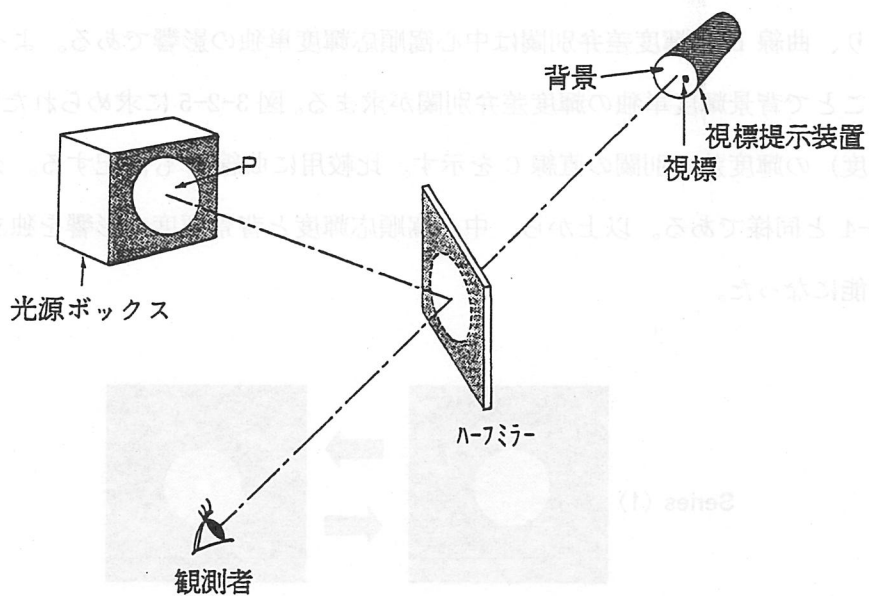


図 3-2-1 実験装置の概要⁽¹⁴⁾

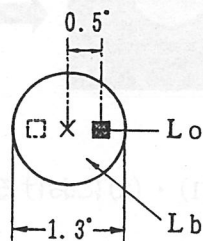


図 3-2-2 視標の概要⁽¹⁴⁾

実験は2種の内容が行われた。シリーズ(1)は視対象物を光幕を透して評価する実験、シリーズ(2)は光幕を透さずに評価する実験である(図3-2-3に提示情報のイメージを示す)。どちらの実験も評価する前に光幕に十分順応させた。シリーズ(1)では、順応に用いた光幕をそのまま提示した状態で背景及び視標を提示させた。この場合、観測者の目には視標が光幕を背景として提示されたように見える。シリーズ(2)では、背景及び視標を提示する際に、光幕を消失させた。網膜の中心窩順応輝度は、急激な輝度変化に追従することができないため視標が提示された時の網膜の順応状態は同じであり、異なるのは背景輝度の違いである。それぞれの実験結果を図3-2-4に示す。縦軸は輝度差弁別閾、横軸はシリーズ(1)の実験結果である曲線Aでは中心窩順応輝度であると同時に背景輝度であり、シリーズ(2)

の実験結果である曲線 B では中心窩順応輝度である。

曲線 A の輝度差弁別閾は背景輝度（含む光幕輝度）と中心窩順応輝度の両方の影響が含まれており、曲線 B の輝度差弁別閾は中心窩順応輝度単独の影響である。よって、この差を求めることで背景輝度単独の輝度差弁別閾が求まる。図 3-2-5 に求められた背景輝度（含む光幕輝度）の輝度差弁別閾の直線 C を示す。比較用に曲線 B も併記する。グラフの縦軸は図 3-2-4 と同様である。以上から、中心窩順応輝度と背景輝度の影響を独立して取扱うことが可能になった。

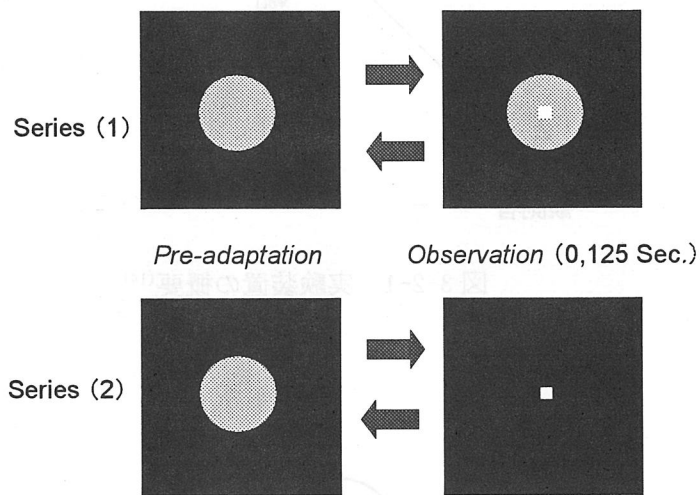


図 3-2-3 実験(1)・(2)における観測者の視野の変化⁽¹²⁾

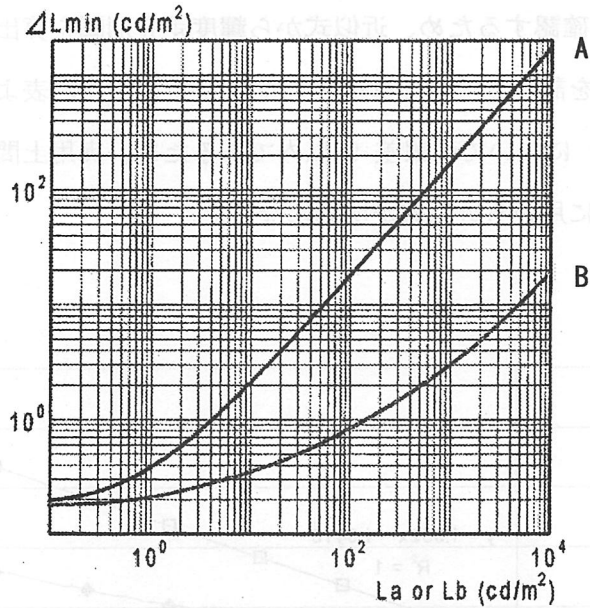


図 3-2-4 実験結果⁽¹⁵⁾

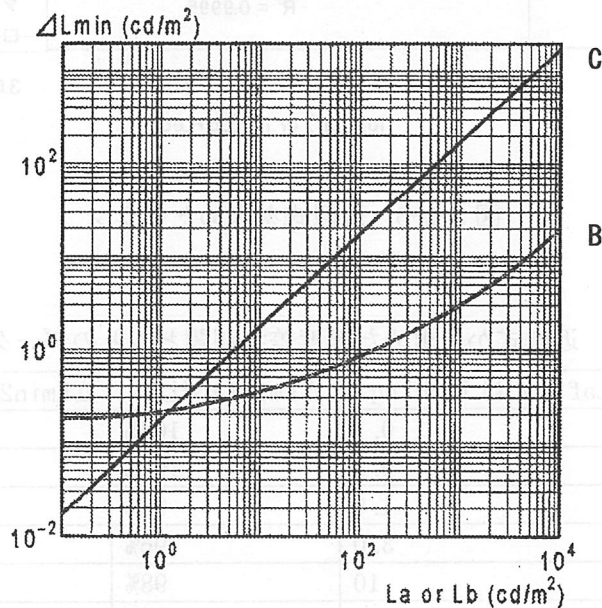


図 3-2-5 背景輝度、中心窩順応輝度による輝度差弁別閾⁽¹⁵⁾

《注意》図 3-2-4、図 3-2-5 は実験データに係数がかかっているため、道路照明の可視度の計算式にそのまま使用していない

次に可視度計算の利便性を向上させるため、成定・吉村のデータ⁽⁹⁾から近似式を算出した。対数軸にすると適切な近似式が得られることが分かったため、対数変換した変数に対する最小二乗法で近似した。対数変換したグラフ、及び近似式を図 3-2-6 に示す。縦軸は輝度差弁別閾の対数値、横軸は中心窩順応輝度、または背景輝度の対数値である。得られ

た近似式の妥当性を確認するため、近似式から輝度差弁別閾を算出し、もとのデータとの程度ずれているかを計算した。計算結果を表 3-2-2 に示す。表より道路照明で使用する範囲 (0.1~30cd/m²) においては誤差 5%以内であるため、実用上問題ないと判断した。以上から、可視度計算に用いる近似式が明確になった。

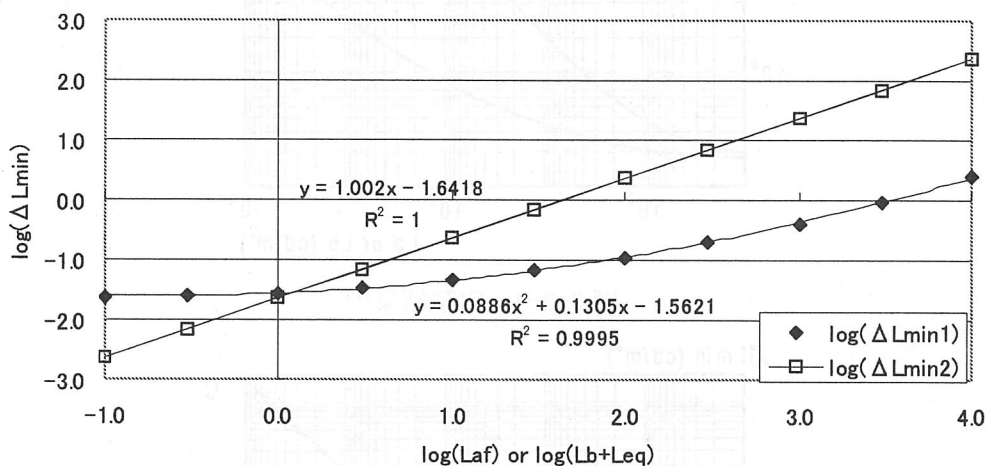


図 3-2-6 近似式を求めたグラフ

表 3-2-2 近似式から求めた輝度差弁別閾ともとのデータとの比較

Laf または Lb+Leq	ΔLmin1 の比率	ΔLmin2 の比率
0.1	104%	101%
0.3	101%	103%
1.0	98%	99%
3.0	96%	99%
10	98%	99%
30	101%	99%
100	102%	99%
300	104%	99%
1000	107%	99%
3000	104%	99%
10000	96%	99%

※比率は計算値をもとのデータで割った値である

(2) 補正係数

道路照明環境における視対象物の視認性の条件を本委員会で検討した結果、視対象物の視角サイズ7'、提示時間0.125秒、視認確率75%とすることとした。しかしながら、成定・吉村⁽⁹⁾の研究と条件が異なる条件(表3-2-1参照)があるため、成定・吉村のデータに補正係数を乗ずることで可視度の計算に用いることとした。視角サイズ、提示時間、視認確率それぞれの補正係数を求め、それらを掛け合せた。なお、それぞれの補正係数が独立に変化すると仮定して補正係数を求めていることに留意する必要がある。

$$K=K(\alpha) \times K(P) \times K(t) = 6.25 \quad \dots \text{式 3-2-1}$$

$K(\alpha)$: 視角サイズ (10' → 7') の補正係数 = 2.5

$K(P)$: 視認確率 (50% → 75%) の補正係数 = 2.5

$K(t)$: 提示時間 (0.125秒) の補正係数 = 1.0

1) 視角サイズ

視角サイズは観測距離100mにある20cmの視対象物を想定して7'とした。補正方法についてはAdrianの研究⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾を用いた。Adrianは先述(表3-2-1)のBlackwellの実験データを用いて、輝度弁別能が視対象物の視角サイズによってどのように変化するかを解析した。Adrianが求めた輝度対比(C)が30%の条件での視角サイズと所要背景輝度との影響を図3-2-7に示す。縦軸は視標がギリギリ視認できる所要背景輝度であり弁別閾と言い換えることができる。横軸は視標の視覚サイズを示している。この結果を用いて視対象物の視角サイズを10'から7'に補正する。順応輝度と背景輝度が著しく異なる値を用いて補正することは好ましくないと判断し、順応輝度と背景輝度が等しい図3-2-7の下曲線を用いて補正を行った。その結果、10'の背景輝度が0.08cd/m²、7'の背景輝度が0.2cd/m²であるから、視対象物の視角サイズの補正係数は2.5倍(=0.2/0.08)となる。

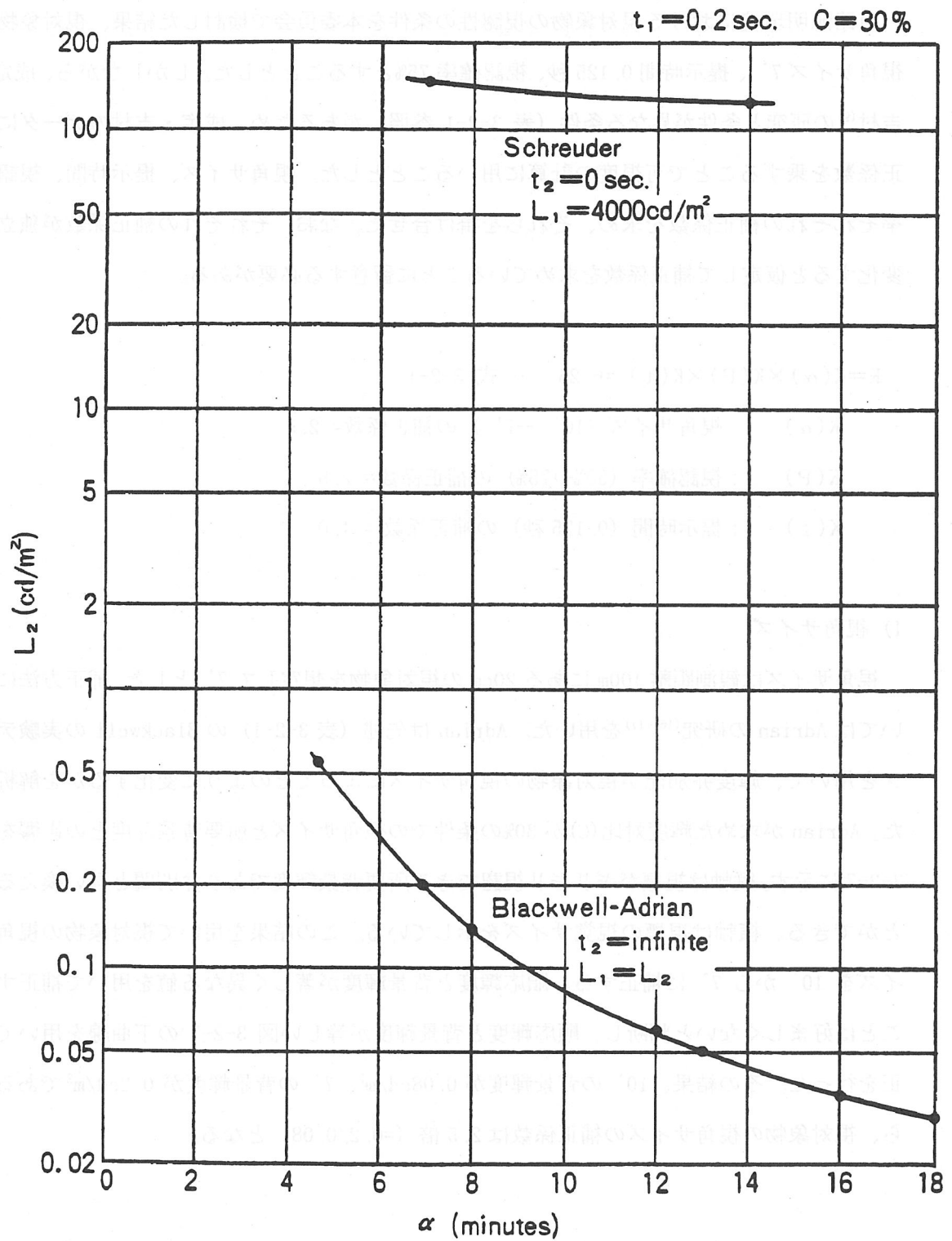


図 3-2-7 視角サイズと所要背景輝度との関係⁽¹⁾

註：上記図は CIE publication No. 61-1984 の P12 から引用したものである。

原書は日本照明委員会 (ciejapan@mb.infoweb.ne.jp) で購入可能である。

2) 視認確率

視認確率は、道路が安全性を要求される環境であることから視認確率 75%とした。補正方法については、文献調査を行った結果をもとに、Adrian の研究⁽¹⁷⁾、成定の研究⁽¹⁸⁾、Shreuder の研究⁽¹⁹⁾について比較検討を行った。それぞれの実験結果のグラフを図 3-2-8~10 に示す。図 3-2-8 は、縦軸が正規確率軸になっており、横軸は相対輝度対比を示しており、輝度対比が相対的にどの程度変化すれば、視認性（視認確率）がどのように変化しているかを示している。図 3-2-9 は縦軸が視認確率で、横軸が路面輝度である。各直線は輝度均斉度の違いを示しており、路面輝度や輝度均斉度の違いで視認確率にどのような違いがあるかを示している。図 3-2-10 も縦軸が視認確率、横軸が路面輝度である。

それぞれ実験条件や目的が異なるため、実験結果から得られる補正係数についても違いがあった。それぞれの実験結果から算出された補正係数を表 3-2-3 に示す。表 3-2-3 より 3 者の研究では、補正係数に 1.3~2.5 倍と約 2 倍の違いがある。本委員会で議論した結果、3 者の研究に優劣がつかずどれか 1 つの補正方法に特定することが困難なため、安全性を考慮して 3 種の補正係数の内最も値の大きい 2.5 倍を採用することとした。

表 3-2-3 3 者の研究から得られた補正係数

研究者	補正係数	算出式
Adrian	1.3	$1.3 / 1.0$ (相対輝度対比より)
成定	2.5	$1.25[\text{cd}/\text{m}^2] / 0.5[\text{cd}/\text{m}^2]$ (U=0.38 の場合)
Shreuder	1.3	$450[\text{cd}/\text{m}^2] / 335[\text{cd}/\text{m}^2]$

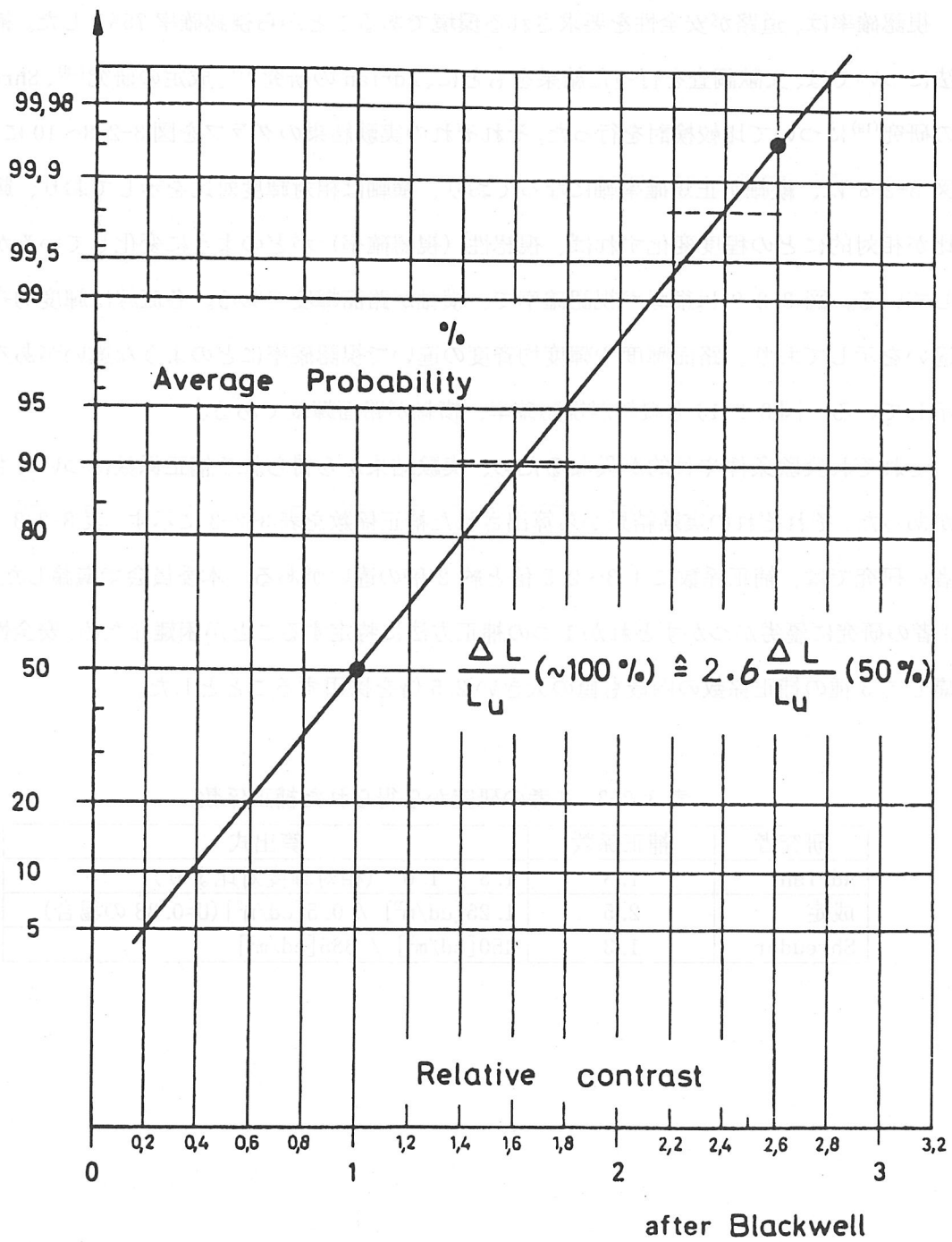


図 3-2-8 視認確率と所要背景輝度との関係⁽¹⁷⁾

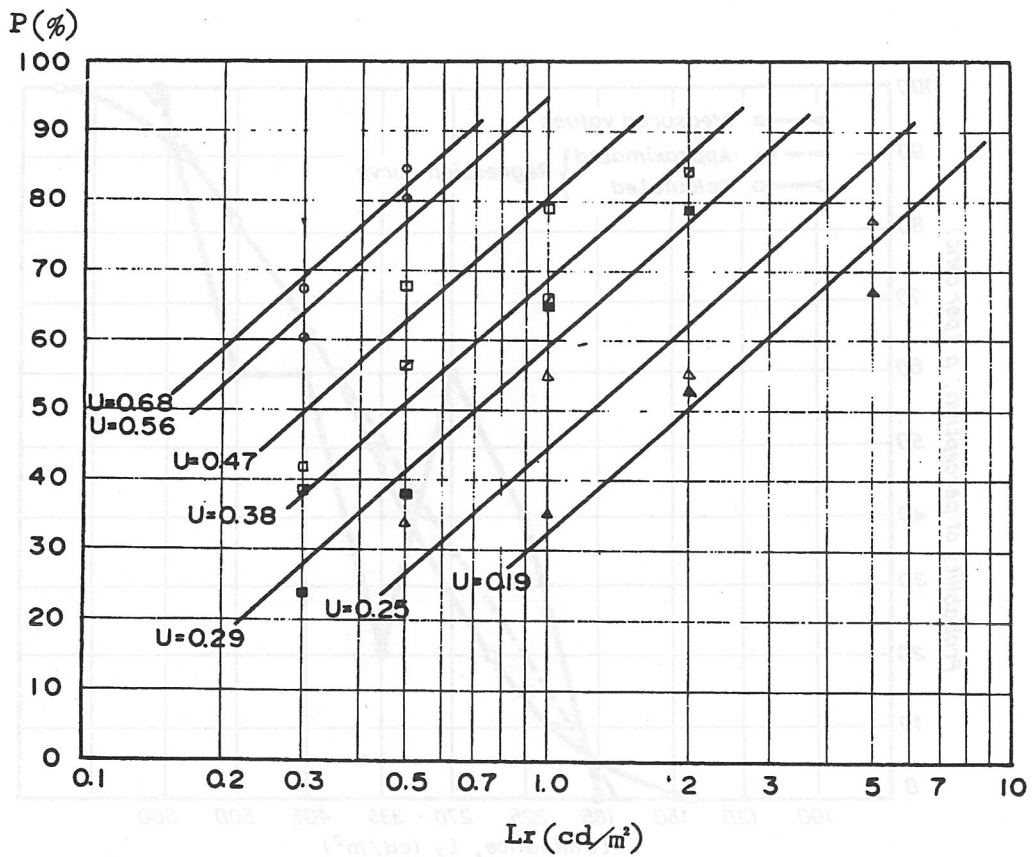


図 3-2-9 視認確率と路面輝度との関係⁽¹⁸⁾

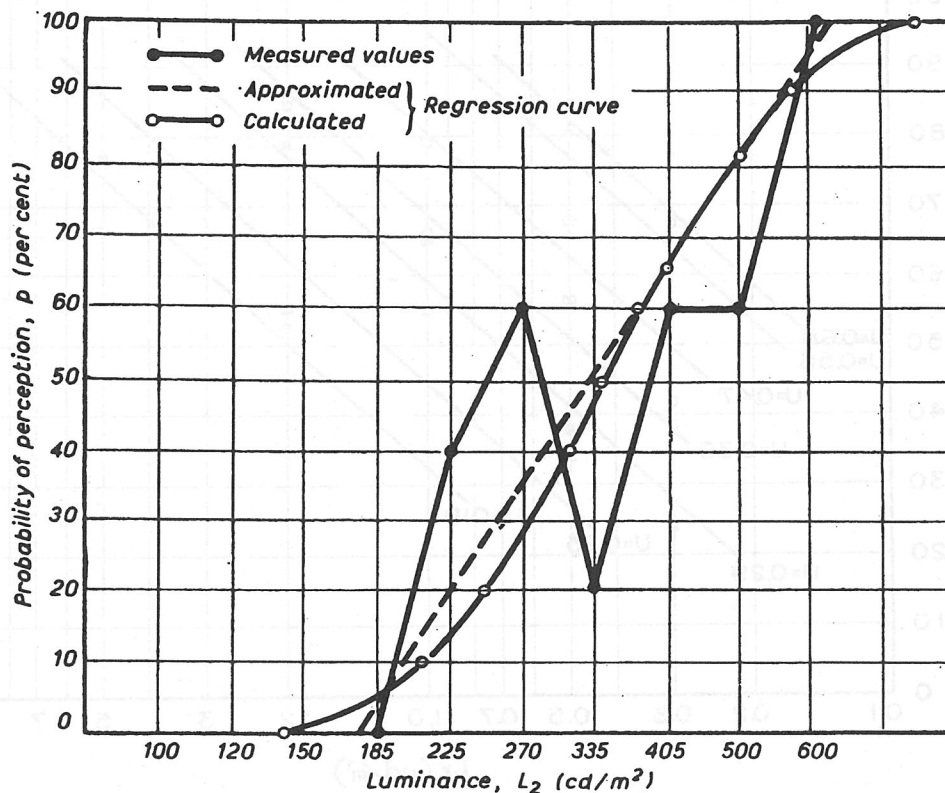


図 3-2-10 視認確率と背景輝度との関係⁽¹⁹⁾

3) 提示時間

提示時間については、視対象物の探索時間に関する文献調査を行ったところ、視対象物を探索する時間は、実験条件や心理的な条件で大きく変化することが分かった。また、実験条件によって幅があるが、概ね 0.1~0.3 秒程度の結果が多いことが分かった。表 3-2-4 に文献の調査結果を示す。補正方法についての研究として Adrian の研究⁽¹⁶⁾(1)がある。図 3-2-11 に Adrian の解析結果を示す。縦軸は相対的な背景輝度、横軸は視標の提示時間を示している。グラフより、例えば成定、吉村の実験条件である 0.125 秒と Blackwell の実験

条件である 0.2 秒とでは、補正係数が約 0.8 (=76.5/91.8) 程度でしかなく、視角サイズ、視認確率に比べて影響が小さいことが分かった。成定・吉村の実験条件である提示時間 0.125 秒が視覚情報の探索時間として比較的短い側であり、安全側に設定されていることから、提示時間については特に補正を行わないこととした。

表 3-2-4 視対象物の探索時間に関する文献調査結果

提示時間 (秒)	出典	研究者	年代	備考
0.15～0.20	照明学会誌 第 65 巻 12 号 「照明設計と見え方」	成定康平	昭和 56 年	視覚がある対象物から必要な情報を知覚するためには少なくとも 0.15～0.20 秒間、視点をそれに停留させなければならない ⁽²⁰⁾
0.10～0.20	照明学会誌 第 56 巻 2 号 「高速道路照明の所要要件」	成定康平 吉川孝次郎	昭和 47 年	人間の目が 1 つの点に中心視野を走査させ、これを認識するためには、少なくとも 0.1～0.2 秒要するとされている
約 0.25	視覚の心理物理学 (1975 年)	池田光男	(1950 年)	<パウズナー(Powsner)> 小さい距離をぱっと飛んで約 0.25 秒留まり、また飛ぶと言う動作を繰り返している ⁽²¹⁾
約 0.30	文章を読む時の眼球運動の研究事例を調査		(1967 年)	<ヤープス(Yarbus)> 跳躍運動と一定点に 0.3 秒強留まることが良く見られた ⁽²⁰⁾
0.23～0.33			(1957 年)	<テイラー(Taylor)> 一箇所に留まる時間は 0.33 秒(小学一年生)、0.23 秒(大学生)の違いがあるだけで、年齢差はあまり見られない ⁽²²⁾
0.15	学術論文・注視点の提議 ⁽²³⁾	福田亮子 (ミュンヘン工科大学)		眼球は常に運動していて全く静止している状態がない。視対象を中心とする半径 2° の範囲に最低注視時間(例えば 0.15 秒)よりも長く視線が留まっていれば、それを注視と見なすことができる
動画 0.30～0.35 静止画 0.25～0.30	自動車走行場面前景に対する評価について 動画と静止画との比較: 眼球運動を指標として ⁽²⁴⁾	石松一真 (早稲田大学人間科学部)		スクリーン上に映し出された自動車走行時前景の画像(動画と静止画)を被験者に見せ、装着したアイカメラで眼球の停留時間を測定した。動画で 0.30～0.35 秒、静止画で 0.25～0.30 秒だった
0.12～0.20	CG 映像を用いたトンネル内の視線誘導方策に関する研究 ⁽²⁵⁾	木村、清水、相原(秋田大学)	2000 年	CG で作成したトンネル内映像をアイカメラを装着した被験者に見せ、その時の注視時間を測定した。速度 60km/h、対向車なしで 0.12～0.28 秒だった
0.10～0.20	色彩科学ハンドブック 「視知覚と視認」P56	成定康平	1998 年	通常の眼球運動中に視野内の一点に視線が停留する時間は 0.1～0.2 秒といわれている ⁽¹⁾⁽²⁶⁾

0.20 以下	知覚感覚ハンドブック	神作博	昭和 44 年	最小視認閾（視野内に点・線の存在を認識できる閾）と提示時間の関係は 0.2 秒以下で適用できる事が Keeseey (1960 年) ⁽²⁷⁾ の研究により明らかにされている
0.225	<p>行動と視覚的注意</p> <p>運転中の注意の広さと深さの研究結果をまとめた。三浦は自動車運転中の注視時間は 0.2~0.7 秒といえると記述している</p>	三浦利章	(1984 年)	読書実験：Rayner ⁽²⁸⁾
0.275			(#)	実験室での視覚探索時：Rayner ⁽²⁸⁾
0.17~0.26			(1970 年)	自動車運転中で道路要素や遠景を見る場合：村田、中村 ⁽²⁹⁾
0.40~0.87			(#)	自動車運転中で道路標識や速度計を見る場合：# ⁽²⁹⁾
0.48			(1977 年)	自動車運転中で事故率の高いカーブを走行している場合：Shinar, McDowell&Rockwell ⁽³⁰⁾
0.39			(#)	自動車運転中で事故率の低いカーブを走行している場合：# ⁽³⁰⁾
0.34~0.42			(1980 年)	カーブ及び流入道路のある狭路通過時：Cohen ⁽³¹⁾
0.35~0.55			(1976.80 年)	左折した直後の狭い直線道路にクレーンが置かれている場合：Cohen ⁽³²⁾
0.41~0.54			(#)	住宅街の直線道路を通過する場合：Cohen ⁽³²⁾
0.52			(1979 年)	四輪車での実走行時：三浦 ⁽³³⁾
0.67			(#)	上記道路を 8mm で提示した場合：三浦 ⁽³³⁾
0.279			(1990 年)	課題の少ない高速道路を運転する場合：Unema&Rotting ⁽³⁴⁾
0.213			(#)	課題の大きい一般道路のロータリー通行時 ⁽³⁴⁾

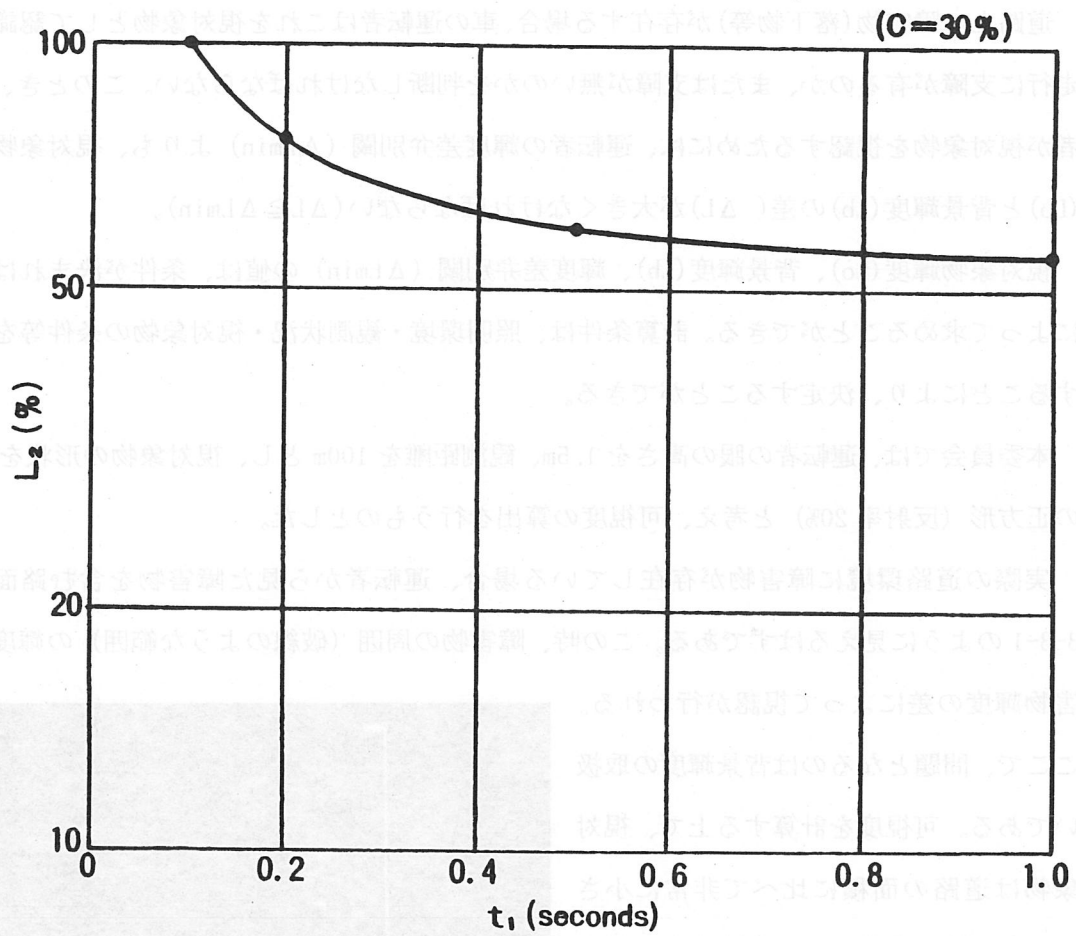


図 3-2-11 提示時間と所要背景輝度との関係⁽¹⁾

註：上記図は CIE publication No. 61-1984 の P26 から引用したものである。

原書は日本照明委員会 (ciejapan@mb.infoweb.ne.jp) で購入可能である。

3.3 背景輝度

道路上に障害物(落下物等)が存在する場合、車の運転者はこれを視対象物として認識し、走行に支障が有るのか、または支障が無いのかを判断しなければならない。このとき、運転者が視対象物を視認するためには、運転者の輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) よりも、視対象物輝度 (L_o) と背景輝度 (L_b) の差 (ΔL) が大きくなければならない ($\Delta L \geq \Delta L_{min}$)。

視対象物輝度 (L_o)、背景輝度 (L_b)、輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の値は、条件が決まれば計算によって求めることができる。計算条件は、照明環境・観測状況・視対象物の条件等を設定することにより、決定することができる。

本委員会では、運転者の眼の高さを 1.5m、観測距離を 100m とし、視対象物の形状を 20cm の正方形 (反射率 20%) と考え、可視度の算出を行うものとした。

実際の道路環境に障害物が存在している場合、運転者から見た障害物を含む路面は図 3-3-1 のように見えるはずである。この時、障害物の周囲 (破線のような範囲) の輝度と障害物輝度の差によって視認が行われる。

ここで、問題となるのは背景輝度の取扱いである。可視度を計算する上で、視対象物は道路の面積に比べて非常に小さいので、視対象物の中心を代表点と仮定して視対象物輝度の計算を行っても大きな差は生じないが、輝度分布が不均一な道路照明環境において、背景輝度は奥行きがかなりあるので設定によっては計算結果に差が生じる場合がある。

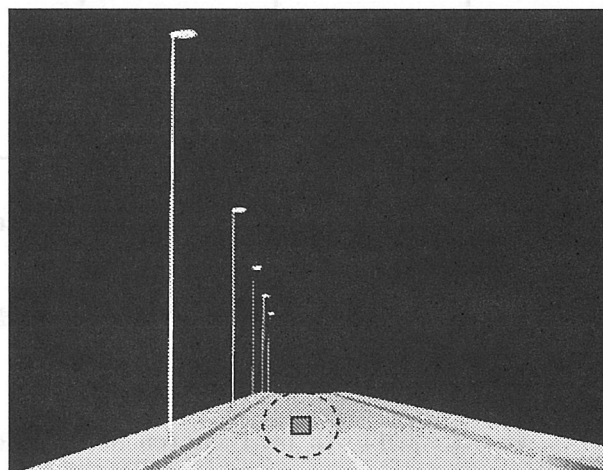
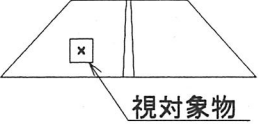
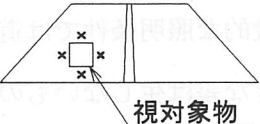
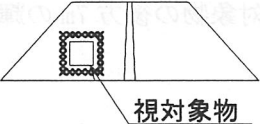
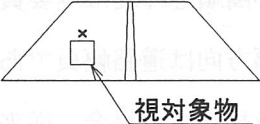
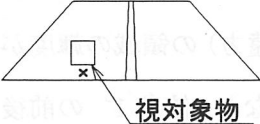


図 3-3-1 視対象物と背景の見え方

本委員会では上記のような計算上の問題を解決するため、可視度の算出に用いる背景輝度の計算地点の定義を明確にすることを目的に比較検討を行った。比較検討は表 3-3-1 に示す 5 案について理論的な面と運用面の双方から検討し、視対象物の後方 7m の地点を計算地点 (背景輝度) とすることとした。

表 3-3-1 背景輝度の種類と特徴

<p>① 7m 後方の輝度</p> 	<p>成定の研究⁽³⁵⁾では、高さ 20cm の視対象物を考えた場合、100m 離れて 1.5m の高さから見た時に背景の長さは 15m 程度になるが、このとき少なくとも、視対象物の下から 1/3 程度の背景が見えなくなると、視対象物が識別できないことが明らかにされている。このため、背景の長さ 5~7m の輝度を視対象物の識別に必要な背景輝度として取り扱っている。また、計算及び測定を視対象物の後方 7m と設定すれば比較的作業が容易となる。</p>
<p>② 上下左右 4 点の平均輝度</p> 	<p>視覚的に正当性が高いと考えることができるが、輝度差が平均化され、本来の輝度差が得られにくい。また、道路の端点を計算する場合、道路の外側を計算することになり不具合が生じる。ただし、過去の現場実験では数多く採用されている方法であるため、実験結果との整合性がとれるメリットがある。</p>
<p>③ 周囲全体の輝度差</p> 	<p>最大の輝度差を計算で求めるため、視覚的に正当性が高いと考えることができるが、最大輝度差が得られる面積が微小である場合、視認できるかは不明である。また、実際に計算を行う場合、非常に煩雑な作業を伴い、測定も困難である。</p>
<p>④ 上部の輝度</p> 	<p>理論的な根拠はないが、計算や測定は比較的容易である。</p>
<p>⑤ 下部の輝度</p> 	<p>理論的な根拠はないが、視覚心理的に視対象物が着地している場所が重要であると考えられる。着地点を背景輝度の計算地点と考えると計算および測定は最も容易であると考えられる。</p>

注) ×印は背景輝度の計算地点を示す。

本委員会で背景輝度の検討を行う際、重視した内容は以下のとおりである。

- ・実際の照明設備において容易に測定ができること。
- ・計算が容易に行えること。
- ・理論的な説明ができること。

上記の方針に基づいて検討を行った結果、成定の研究⁽³⁵⁾によって理論的な説明が行われていること、測定及び計算が容易にできること等の条件を満たしている①の視対象物の後方7mの輝度を背景輝度として取り扱うこととした。なお、一般的な照明条件では道路の輝度分布が比較的良好な状態となり、背景輝度の取り方により大きな差は生じないものと考えられることができるが、低い位置から照明しているような場合は路面の輝度分布の変化が大きいので、視対象物の後方7mの輝度が必ずしも適切ではない場合が考えられる。このため、本委員会では、標準的なケース（照明器具が8mから10mの高さに設置されるような、一般的な道路照明条件において観測距離を100mとする）について、視対象物の後方7mの輝度を背景輝度として適用するものとした。

3.4 中心窩順応輝度

運転者は様々な位置に視点を移動しながら運転しているが、概ね俯角 1° の路面を中心に視点を移動していると考えられる⁽³⁶⁾。よって、中心窩順応輝度は本委員会で新たに定めた『路面の平均輝度』とした。『路面の平均輝度』は幅方向は道路幅員であり、進行方向は器具設置間隔によって変化する。『路面の平均輝度』を規定する場合、従来照明設計に用いている『平均路面輝度』を算出する方法（視点から60m離れた位置から器具設置間隔1区間分）では、次の問題点があることが分かった。

- ①『平均路面輝度』の計算範囲が俯角 1° （86m）より手前（60m側）の領域が多いが、視対象物の設置位置は100mであるため、奥側（86mより遠方）の領域の輝度が少ない。
また、運転者の視点が前後同等に移動していると考えられるなら、俯角 1° の前後の距離は空間的に等間隔にするのではなく、視角的に等間隔にする必要がある
- ②設置間隔によっては、視対象物の背景輝度である107m地点の部分輝度が計算されない

以上の課題を解決するため、本委員会では可視度計算の中心窩順応輝度として使用する

『路面の平均輝度』の算出方法を検討した。その結果、俯角 1° を中心に上下に等視角ずつ振り分けた領域の部分輝度の平均値を『路面の平均輝度』とした。この手法では、上記の問題点を全て解決することができる。従来の計算領域と今回提案する計算領域のイメージを図3-4-1に示す。ただし、この計算方法では器具の設置間隔が35m未満の場合、観測距離107m地点の部分輝度が計算されない。この場合は、含まれるまで設置間隔を倍加して対応することとした。

(例えば器具設置間隔30mの場合、2倍の60m分の領域の平均輝度を中心窩順応輝度に使用する)

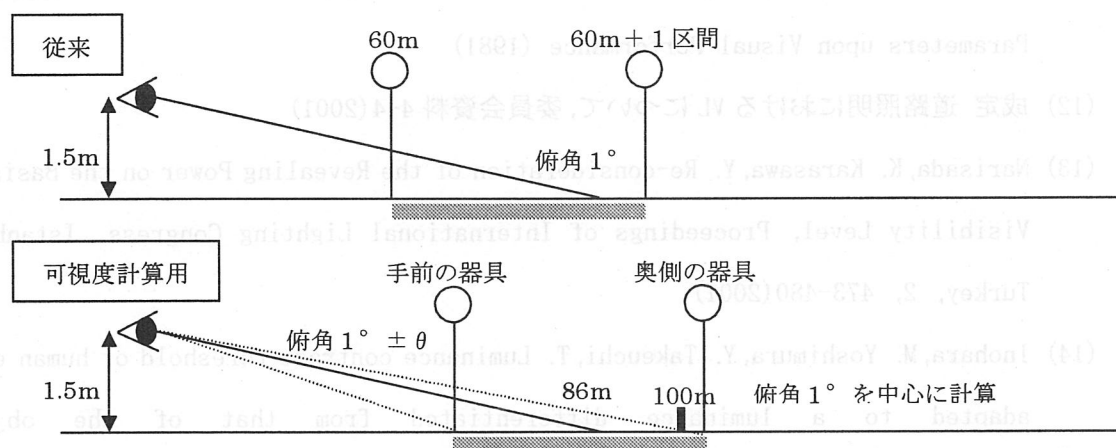


図3-4-1 計算領域のイメージ

<参考文献>

- (1) CIE No. 61, Tunnel Entrance Lighting - A survey of fundamentals for determining the luminance in the threshold zone (1984)
- (2) Schreuder, D. A., Lighting of Vehicular Traffic Tunnels, 119, Centrex, Eindhoven, The Netherlands (1964)
- (3) Narisada, K. Perception in complex fields under road lighting conditions, Lighting Research & Technology, 27 (3) 123-131 (1995)
- (4) Smith, F. C. Reflection Factors and Revealing Power, Trans. Illum. Eng. Soc. (London), 3, 196-200 (1938)
- (5) 横断歩道照明調査研究委員会報告書 社団法人照明学会 昭和42年
- (6) Waldram, J. M. Revealing Power of Street Lighting Installations, Trans. Illum. Eng. Soc. (London), 3, 173-186 (1938)
- (7) 道路照明施設設置基準・同解説 社団法人日本道路協会 昭和56年
- (8) Blackwell, H. R. Contrast Thresholds of the Human Eye, Jour. Opt. Soc. Am., 36,

- 624-643(1946)
- (9) Narisada, K. Yoshimura, K. Adaptation luminance of driver's eyes at the Entrance of Tunnel --- an Objective Measuring Method, Transactions of the 3rd International Symposium of Road Lighting Effectiveness, Karlsruhe, on 5-6, July, 56-73(1977)
 - (10) Narisada, K. Perception in complex fields under road lighting conditions, Light. Res. & Tech., 27(3), 123-131(1995)
 - (11) CIE No. 19/2.1 An Analytic Model for Describing the Influence of Lighting Parameters upon Visual Performance (1981)
 - (12) 成定 道路照明における VL について, 委員会資料 4-4(2001)
 - (13) Narisada, K. Karasawa, Y. Re-consideration of the Revealing Power on the Basis of Visibility Level, Proceedings of International Lighting Congress, Istanbul, Turkey, 2, 473-480(2001)
 - (14) Inohara, M. Yoshimura, Y. Takeuchi, T. Luminance contrast threshold of human eyes adapted to a luminance differentiated from that of the object background, Proceeding of CIE Kyoto Session, P_79. 34, 193-197(1979)
 - (15) Narisada, K. Balance between Energy, Environment and Visual Performance, CIE No. 133, Proceeding of CIE Warsaw Session, Vol. 1, Part. 1, 17-22(1999)
 - (16) Adrian, W. Lichttechnik 21, 1, 2A-7A(1969)
 - (17) Adrian, W. Visibility Levels under Night-time Driving. Condition Jour. Illum. Eng. Soc, 3-12(1987)
 - (18) Narisada, K. Influence of Non-Uniformity in Road Surface Luminance of Public Lighting Installations upon Perception of Objects on the Road Surface by Car-Drivers, Proceeding of CIE Balcelone Session, P_71. 17(1971)
 - (19) Schreuder, D. A. Tunnel entrance lighting --- a comparison of recommended practice, Lighting Res. & Tech., 3-4, 274-278(1971)
 - (20) Yabus, A, L, Eye Movements and Vision, Plenum Press(USA)(1967)
 - (21) Powsner, E. R Lion, K. S. Testing eye movements, 23, 3, 96-99(1950)
 - (22) Taylor, E. A. The spans: perception, apprehension, and recognition as related to reading and speeding, Amer. J. Ophthal, 44, (4), 501-507(1957)

- (23) 福田ら 注視点の定義に関する実験的検討, 人間工学, 32(4), 197-204(1996)
- (24) 石松一真 映像を利用した道路環境評価に関する一研究, 早稲田大学人間科学部安全人間工学研究室修士論文(2002)
- (25) 相原ら CG映像を用いたトンネル内の視線誘導方策に関する研究, 第20回交通工学研究発表会論文報告集, 25-28(2000)
- (26) 渡辺ら 画像と注視の分布 NHK技報 1965
- (27) Keeseey, U.T Effects of involuntary eye movement on visual acuity, Jour. Opt. Soc (Am), 50, 769-774(1960)
- (28) Rayner, K Visual selection in regarding, picture perception, and visual search---A tutorial review, Attention and Performance X, Lawrence Erlbaum Associates, 1994, 67-96(1985)
- (29) 村田、中村 自動車運転者の注視点, 交通工学, 5(5), 3-12(1970)
- (30) Shinar, D. McDowell, E. D. Rockwell, T, H Eye movements in curve negotiations, Human Factors, 19, 63-71(1977)
- (31) Cohen, A. Development of a general model of car driver's eye movement sequences and effect of subject and environmental variables, Progress Report No. 1, Swiss Federal Institute of Tech., Zurich, Department of Behavioral Sciences, Contract No. DAJA 37-80-C-0255(1980)
- (32) Cohen, A. Augenbewegungen des Autofahrers beim Vorbeifahrer an unvorhersehbaren Hindernissen und auf freier Strecke, Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 22, 2, 68-76(1976)
- (33) 三浦 運転場面における視覚的行動: 眼球運動の測定による接近, 大阪大学人間科学部紀要, 5, 253-289(1979)
- (34) Unema, P. Rotting, M. Difference in eye movements and mental work load between experienced and inexperienced motor-vehicle drivers, The New Scientist, 8(1960)
- (35) 成定康平 道路照明における路面輝度と照度 JIS規格に関する調査報告書 財団法人日本規格協会 財団法人機械振興協会経済研究所 昭和40年9月
- (36) CIE No. 30-2 Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting(1990)

4. 可視度計算式の運用

4.1 計算条件の明確化について

可視度は次式に「2.3 計算式」に示したように、背景輝度 (Lb) と視対象物の輝度 (Lo) の輝度差 (ΔL) を輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) で割った値である。

$$VL = \Delta L / \Delta L_{min} \quad \cdots \text{式 4-1-1}$$

背景輝度、視対象物の輝度および輝度差弁別閾の値は、全て照明条件と観測条件により異なる。例えば照明条件が全て同じで、評価する場所が同じであっても、観測する位置が異なれば輝度差 (ΔL) と輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) がそれぞれ変化し、求まる可視度は異なった値となる。任意の観測地点における任意の場所の可視度を算出する際は、必要に応じて条件を設定して計算を行えば良いが、照明設備について可視度を用いて定量的な評価を行う場合は一定の計算条件を明確に示す必要がある。

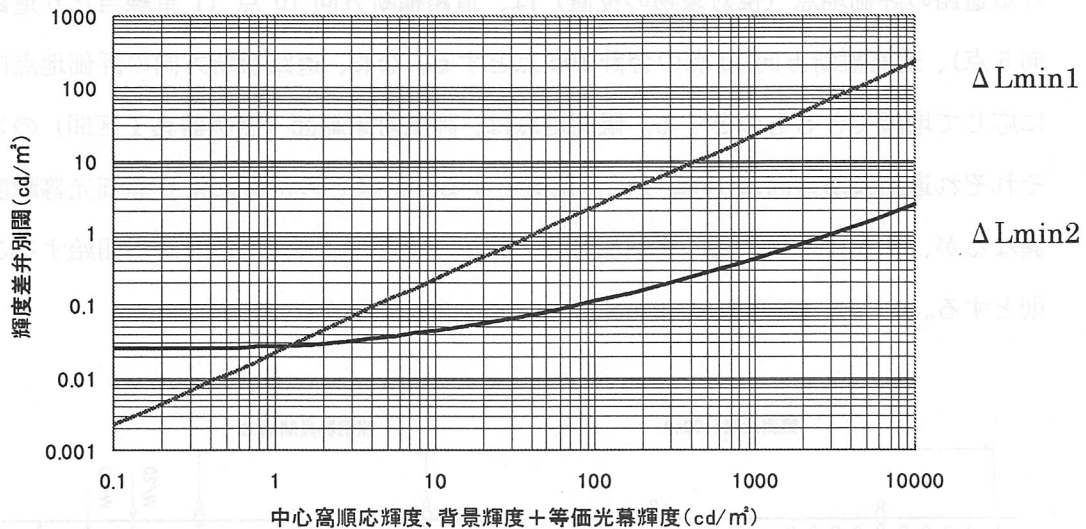
本章では具体的な計算条件を示し、運転者の視野内に複数のグレア源 (照明器具) が存在する複雑な輝度分布の道路照明環境における可視度の算出方法について述べる。

4.2 可視度計算の手順

可視度の計算式は上記のように単純な式で表すことができるが、実際の計算方法は煩雑であるため、以下に可視度計算の手順を項目毎に示す⁽¹⁾。なお、計算に必要な条件および数式は「4.3 可視度計算」に詳細を示す。

- ① 照明条件 (照明環境) を設定する。
- ② 観測地点と視対象物の位置を設定する。
- ③ 照明条件 (照明環境) を基に、視対象物の背景となる背景輝度 (Lb) と視対象物の輝度 (Lo) を逐点的に計算して輝度差 (ΔL) を算出する。
- ④ 運転者の中心窩順応輝度 (Laf) を『路面の平均輝度』により求める。(逐点的に計算した値の平均値を用いる。)
- ⑤ 視対象物を観測している運転者の眼に生ずる等価光幕輝度 (Leq) を算出する。グレア源となる照明器具が視野内に複数個存在する場合は、全てのグレア源によって発生する等価光幕輝度の値の和を用いる。
- ⑥ 中心窩順応輝度 (Laf) に対応した輝度差弁別閾 (ΔL_{min1}) を求める。

- ⑦ 背景輝度 (L_b) に等価光幕輝度 (Leq) を加えた値に対応した輝度差弁別閾 (ΔL_{min2}) を求める。



注： ΔL_{min1} 及び ΔL_{min2} の回帰式は P39 参照のこと

図 4-1-1 中心窩順応輝度、背景輝度＋等価光幕輝度と輝度差弁別閾の関係

- ⑧ ⑥及び⑦で求めた ΔL_{min1} と ΔL_{min2} を加えた値に補正係数(K)を乗じた値が、複雑な輝度分布を持つ道路照明環境における輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) となる。
- ⑨ ③～⑧で求めた結果を用いて、輝度差 (ΔL) を輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) で割り可視度 (VL) を算出する。

4.3 可視度計算

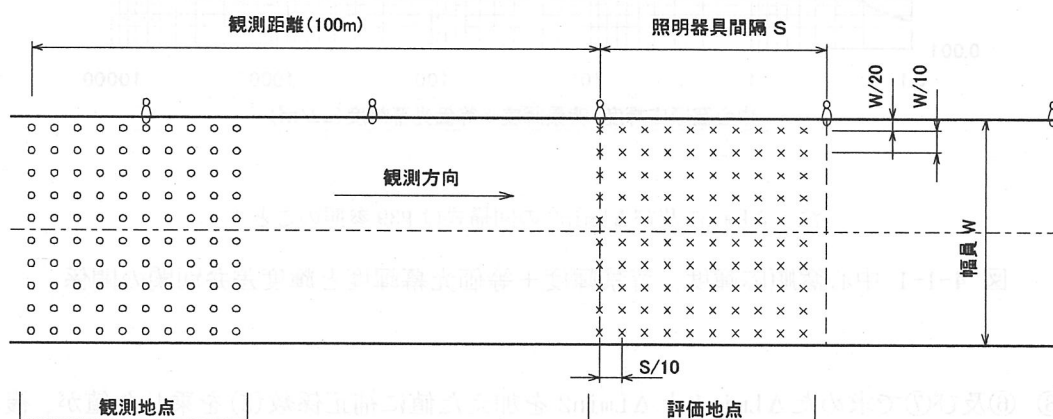
(1) 照明条件の設定

照明条件 (配置・配列・取付高さ・使用光源・使用器具・設置間隔・設置角度等) は、照明設計の結果に基づいて設定するものとする。また、既設の照明設備の評価等を行う場合は、十分に照明条件を把握した上で設定を行うものとする。

連続照明設備における各種の計算は、CIE 勧告の輝度計算方法⁽²⁾に準拠し計算対象範囲 (1 区間) の前後に 2 区間の照明範囲を考慮するものとする。なお、照明器具取付高さが比較的低い場合 (照明器具取付高さが 8m 未満) は、照明器具の設置間隔が狭くなり各種の計算結果に影響を与える場合があるので、十分な配慮が必要である。

(2) 観測地点と評価地点の設定

運転者から見た視対象物の観測距離は100mとし、図4-3-1に示すように2車線断面における道路の評価地点（視対象物の位置）は、道路横断方向10点（1車線当たり道路横断方向5点）、道路縦断方向10点の合計100点とする。なお、道路横断方向の評価地点は車線数に応じて増減できるものとする。観測地点は、評価対象範囲（照明器具1区間）の×印からそれぞれ道路縦断方向に100m手前の位置とする。灯具との位置により等価光幕輝度の値は異なるが、計算は対象範囲の手前側灯具の位置から100m離れた地点から開始することを原則とする。



凡例 ○：観測地点、×：評価地点

図4-3-1 観測地点と評価地点の関係

(3) 輝度差 (ΔL) の算出

1) 背景輝度 (L_b)

背景輝度 (L_b) は、視対象物（設定した評価地点）の背景となる路面の輝度（視対象物の後方7mの路面輝度）を式4-3-1を用いて逐点的に求める。

$$L_b = (I/H^2) \times (qp \times \cos^3 \gamma) \text{ [cd/m}^2\text{]} \quad \cdots \text{式 4-3-1}$$

L_b : 背景路面輝度 [cd/m²]

I : 計算に用いる角度の照明器具の光度 [cd]

H : 照明器具の高さ [m]

$qp \times \cos^3 \gamma$: 輝度換算係数

$q_p \times \cos^3 \gamma$ は輝度換算係数であり、図 4-3-2 における角度 (α, β, γ) の関数となる。路面の特性は路面の種類毎に光の入射方向 (β, γ) に対する輝度換算係数 ($q_p \times \cos^3 \gamma$) の分布として表すことができ、路面上における各点の輝度換算係数 γ の分布がわかれば、照明器具の配置と配光から路面の輝度分布を逐点的に算出することができる。入射方向 (β, γ) に対する輝度換算係数 ($q_p \times \cos^3 \gamma$) は CIE 勧告によって舗装の種別毎に示されている値⁽³⁾⁽⁴⁾を使用する。なお、コンクリート舗装及びアスファルト舗装については、本章の終わりに輝度換算係数を示したので参照されたい。

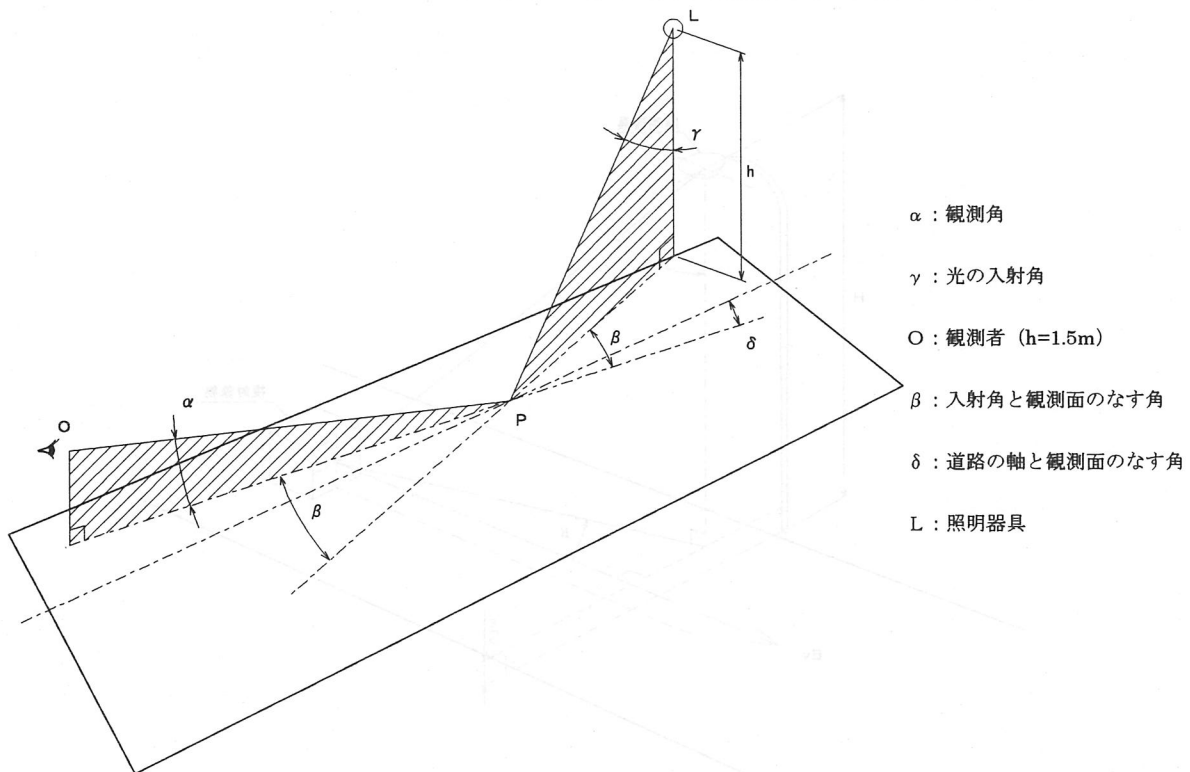


図 4-3-2 照明器具(L)、観測点(P)及び観測者(O)の幾何学的関係

2) 視対象物輝度 (L_o)

視対象物輝度 (L_o) は、評価地点において式 4-3-2 を用いて逐点的に求める。

$$L_o = \rho E_v / \pi \quad [\text{cd/m}^2] \quad \cdots \text{式 4-3-2}$$

L_o : 視対象物輝度 [cd/m^2] 【視対象物の大きさは $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 】

ρ : 視対象物の反射率 [%] 【道路照明環境の可視度を求める場合 0.2 を用いる】

E_v : 鉛直面照度 [lx] 【路面上 0.1m の運転者側の照度】

なお、鉛直面照度の算出は、式 4-3-3 を用いて行うものとする。

$$E_v = I / (H - 0.1)^2 \times \cos^2 \gamma \times \sin \gamma \times \cos \beta \quad [\text{lx}] \quad \cdots \text{式 4-3-3}$$

E_v : 鉛直面照度 [lx]

I : 計算に用いる角度の照明器具の光度 [cd]

H : 照明器具の高さ [m]

γ : 光の入射角 [°]

β : 光の入射方向と観測方向とのなす角 [°]

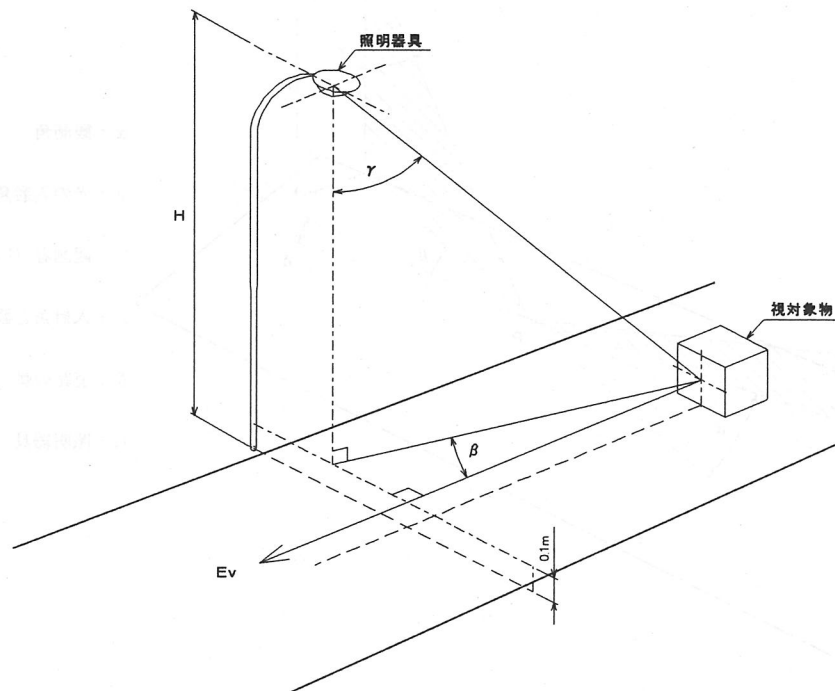


図 4-3-3 視対象物の鉛直面照度を求めるための角度図

3) 輝度差 (ΔL)

輝度差 (ΔL) は、背景輝度 (L_b) と視対象物の輝度 (L_o) を用いて、式 4-3-4 により求める。なお、輝度差 (ΔL) は絶対値で取り扱うものとする。

$$\Delta L = |L_b - L_o| \quad \cdots \text{式 4-3-4}$$

(4) 中心窩順応輝度 (Laf) の算出

運転者の中心窩順応輝度 (Laf) は、逐点的に計算した『路面の平均輝度』を用いる。計算は、運転者の視点高さを 1.5m とし、俯角 1° で観測した場合の路面輝度を算出するものとする。なお、計算範囲は図 4-3-4 に示すように俯角 1° を中心に ±θ の範囲の 110 点とする。この時観測者の位置は、図 4-3-4 に示すように一点に固定する。上下の角度 (θ) は、照明器具の設置間隔を基に式 4-3-5 を用いて求めるものとする。

$$\theta = \tan^{-1} \left[\{-3 - 3 \tan^2(1) + (9 \tan^4(1) + 18 \tan^2(1) + 4S^2 \tan^2(1) + 9)^{0.5}\} / 2S \right] \quad \dots \text{式 4-3-5}$$

θ : 上下の角度 [°] 【図 4-3-4 参照】

S : 照明器具間隔 [m]

上下の角度 (θ) が決定すれば、照明器具間隔毎の計算範囲と観測者の位置は、図 4-3-4 及び以下の式により求めることができる。

$$a = 1.5 / \tan(1 + \theta) \quad \dots \text{式 4-3-6}$$

$$b = 1.5 / \tan(1 - \theta) \quad \dots \text{式 4-3-7}$$

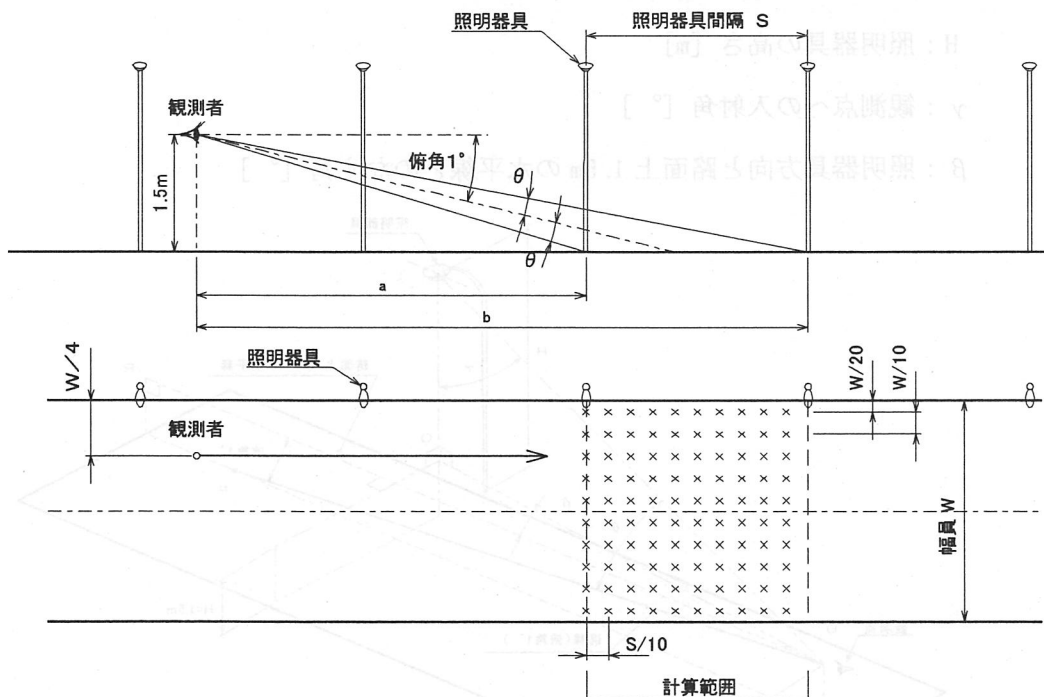


図 4-3-4 路面輝度計算範囲

(5) 等価光幕輝度 (Leq) の算出

等価光幕輝度 (Leq) は、視対象物を観測している運転者の眼球の中に生ずる輝度で、図 4-3-1 に示した観測地点から逐点的に求める。道路照明設備では視野内に複数個のグレア源となる照明器具が存在するため、個々に発生する等価光幕輝度 (Leq) を算出してそれらの値の和を用いるものとする。計算点は、図 4-3-1 に示した観測点全てにおいて等価光幕輝度の値が異なるため、それぞれの観測点 (100 点) とする。なお、等価光幕輝度 (Leq) の計算は、式 4-3-8 を用いて行うものとする。

$$Leq = \sum 10 \times Eg / \theta^2 \text{ [cd/m}^2\text{]} \quad \cdots \text{式 4-3-8}$$

Leq : 等価光幕輝度 [cd/m²]

Eg : 角膜照度 [lx] 【運転者の眼の位置における鉛直面照度】

θ : 視線とグレア源となる照明器具との角度【図 4-3-5 参照】

角膜照度 (Eg) については、式 4-3-9 を用いて算出する。

$$Eg = I / (H - 1.5)^2 \times \cos^2 \gamma \times \sin \gamma \times \cos \beta \text{ [lx]} \quad \cdots \text{式 4-3-9}$$

Eg : 角膜照度 [lx]

I : 計算に用いる角度の照明器具の光度 [cd]

H : 照明器具の高さ [m]

γ : 観測点への入射角 [°]

β : 照明器具方向と路面上 1.5m の水平線とのなす角 [°]

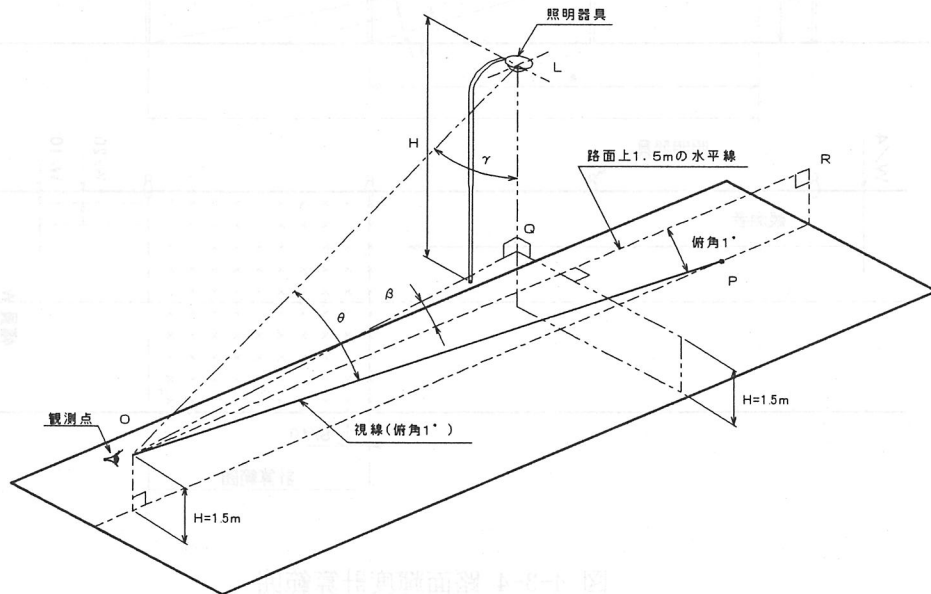


図 4-3-5 等価光幕輝度及び角膜照度を求める角度図

(6) 中心窩順応輝度に(Laf)に対応した輝度差弁別閾 (ΔL_{min1}) の算出

中心窩順応輝度に(Laf)に対応した輝度差弁別閾 (ΔL_{min1}) は、式 4-3-10 を用いて算出するものとする。

$$\Delta L_{min1} = 10^{0.089 \times \log(Laf)^2 + 0.13 \times \log(Laf) - 1.56} \quad [cd/m^2] \quad \dots \text{式 4-3-10}$$

ΔL_{min1} : 中心窩順応輝度 (Laf) による輝度差弁別閾 [cd/m²]

Laf : 中心窩順応輝度 [cd/m²]

(7) 背景輝度(Lb) + 等価光幕輝度(Leq)に対応した輝度差弁別閾 (ΔL_{min2}) の算出

背景輝度(Lb) + 等価光幕輝度(Leq)に対応した輝度差弁別閾 (ΔL_{min2}) は、式 4-3-11 を用いて算出するものとする。

$$\Delta L_{min2} = 10^{\{\log(Lb+Leq) - 1.64\}} \quad [cd/m^2] \quad \dots \text{式 4-3-11}$$

ΔL_{min2} : 背景輝度 (Lb) + 等価光幕輝度 (Leq) による輝度差弁別閾 [cd/m²]

Lb : 背景輝度 [cd/m²]

Leq : 等価光幕輝度 [cd/m²]

(8) 複雑な輝度分布に対応した輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の算出

複雑な輝度分布に対応した輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) は、中心窩順応輝度(Laf)に対応した輝度差弁別閾 (ΔL_{min1}) と背景輝度(Lb) + 等価光幕輝度(Leq)に対応した輝度差弁別閾 (ΔL_{min2}) を加えることにより求めることができる。ただし、「3.2 輝度差弁別閾と補正係数」に示されているように、道路照明環境における可視度の算出に用いる輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の値は、実験値に対して補正係数を乗じるものとする。

$$\Delta L_{min} = (\Delta L_{min1} + \Delta L_{min2}) \times K \quad [cd/m^2] \quad \dots \text{式 4-3-12}$$

K : 補正係数【道路照明環境における可視度の算出には 6.25 を用いる (P17 参照)】

(9) 可視度 (VL) の算出

可視度 (VL) は、(1)～(8)の結果を基に式 4-1-1 を用いて算出する。

$$VL = \Delta L / \Delta L_{min} \quad \cdots \text{式 4-1-1}$$

VL : 可視度

ΔL : 輝度差[cd/m²]

ΔL_{min} : 輝度差弁別閾[cd/m²]

<参考文献>

- (1) Narisada, K. Saito, T. Karasawa, Y. Perception and road lighting design, Proceedings of SANCI International Lighting Conference at Durban, South Africa 83-86 1997
- (2) CIE Pub. No. 30-2 Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting 1990
- (3) CIE Pub. No. 66 Road surfaces and lighting (CIE/PIARC Joint Technical Report) 1984
- (4) CIE Pub. No. 132 Design Methods for Lighting of Roads 1999

表 4-1-1 輝度換算係数 (コンクリート舗装)

tan gamma \ beta	beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770
0.25	710	708	703	710	712	710	708	708	707	704	702	708	698	702	704	714	708	724	719	723
0.5	586	582	587	581	581	576	570	567	564	556	548	541	531	544	546	562	566	587	581	589
0.75	468	467	465	455	457	446	430	420	410	399	390	383	373	384	391	412	419	437	438	445
1	378	372	373	363	347	331	314	299	285	273	263	260	250	265	278	295	305	318	323	329
1.25	308	304	305	285	270	244	218	203	193	185	179	173	173	183	194	207	224	237	238	245
1.5	258	254	251	229	203	178	157	143	134	128	124	120	120	132	140	155	163	177	179	184
1.75	217	214	205	182	153	129	110	100	95	90	87	84	88	98	103	116	123	134	137	138
2	188	181	174	142	116	95	80	73	69	64	62	64	64	72	78	88	95	105	108	109
2.5	145	136	121	90	66	53	46	41	39	37	36	36	39	44	50	55	60	66	69	71
3	118	108	87	57	41	32	28	26	25	23	22	23	25	28	31	37	41	45	47	51
3.5	97	87	64	39	26	20	18	17	16	15	15	16	17	19	23	27	30	33	35	37
4	80	69	50	29	17	14	13	12	11	11	11	11	13	15	17	19	22	26	27	29
4.5	70	58	37	21	13	10	9	8	8	8	8	9	10	12	14	16	17	20	21	22
5	60	51	29	15	9	7	7	6	6	6	6	7	7	9	10	12	14	17	17	18
5.5	52	41	23	12	7	6	6	6	5	4										
6	48	36	19	8	6	5	5	5	5											
6.5	44	32	17	7	6	5	5	5	5											
7	41	28	14	6	5	4	4	4	4											
7.5	37	26	12	6	4	3	3													
8	34	23	11	5	4	3	3													
8.5	32	21	9	5	4	3	3													
9	29	19	8	4	3	3														
9.5	27	17	7	4	3	3														
10	26	16	6	3	3	3														
10.5	25	16	6	3	2	1														
11	23	15	6	3	2	1														
11.5	23	14	6	3	2															
12	21	14	5	3	2															

Standard reflection table
C1
class C I
Qo=0.10

表 4-1-2 輝度換算係数 (アスファルト舗装)

tan gamma \ beta	beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329
0.25	362	358	371	364	371	369	362	357	351	349	348	340	328	312	299	294	298	288	292	281
0.5	379	368	375	373	367	359	350	340	328	317	306	280	266	249	237	237	231	231	227	235
0.75	380	375	378	365	351	334	315	295	275	256	239	218	198	178	175	176	176	169	175	176
1	372	375	372	354	315	277	243	221	205	192	181	152	134	130	125	124	125	129	128	128
1.25	375	373	352	318	265	221	189	166	150	136	125	107	91	93	91	91	88	94	97	97
1.5	354	352	336	271	213	170	140	121	109	97	87	76	67	65	66	66	67	68	71	71
1.75	333	327	302	222	166	129	104	90	75	68	63	53	51	49	49	47	52	51	53	54
2	318	310	266	180	121	90	75	62	54	50	48	40	40	38	38	38	41	41	43	45
2.5	268	262	205	119	72	50	41	36	33	29	26	25	23	24	25	24	26	27	29	28
3	227	217	147	74	42	29	25	23	21	19	18	16	16	17	18	17	19	21	21	23
3.5	194	168	106	47	30	22	17	14	13	12	12	11	10	11	12	13	15	14	15	14
4	168	136	76	34	19	14	13	11	10	10	10	8	8	9	10	9	11	12	11	13
4.5	141	111	54	21	14	11	9	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	10	10	11
5	126	90	43	17	10	8	8	7	6	6	7	6	7	6	6	7	8	8	8	9
5.5	107	79	32	12	8	7	7	7	6	5										
6	94	65	26	10	7	6	6	6	5											
6.5	86	56	21	8	7	6	5	5												
7	78	50	17	7	5	5	5	5												
7.5	70	41	14	7	4	3	4													
8	63	37	11	5	4	4	4													
8.5	60	37	10	5	4	4	4													
9	56	32	9	5	4	3														
9.5	53	28	9	4	4	4														
10	52	27	7	5	4	3														
10.5	45	23	7	4	3	3														
11	43	22	7	3	3	3														
11.5	53	22	7	3	3															
12	42	20	7	4	3															

Standard reflection table
C2
class C II
Qo=0.07

5. 研究調査の成果と今後の課題

5.1 研究調査の成果

本研究調査の成果は、道路照明環境下における可視度の考え方を明らかにし、その計算方法を統一したことである。その中で計算に必要な項目として、視対象物の大きさと反射率、その背景となる輝度、観測距離、輝度差弁別閾の考え方を明らかにした。特に輝度差弁別閾に関しては、その閾値を決定する要因となる視対象物の提示時間、視角サイズ、視認確率の値ならびにそれらの要因が異なる場合の補正の方法を示すことができた。これら本研究調査で決定した項目とその内容を表 5-1-1 に示す。

表 5-1-1 決定内容

	内容
可視度の計算式	$VL = \Delta L / \Delta L_{min}$ $\Delta L = L_b - L_o $ $L_b : \text{背景輝度} \quad [cd/m^2]$ $L_o : \text{視対象物輝度} \quad [cd/m^2]$ $\Delta L_{min} : \text{輝度差弁別閾} \quad [cd/m^2]$
観測条件	観測者の目の高さ 1.5m から 100m 前方の視対象物を観測
視対象物の条件	反射率は 20% で大きさは 20cm の正方形
背景輝度の位置	視対象物の 7m 後方の輝度
輝度差弁別閾のモデル	成定・吉村の研究 (曲線及び算出式は 3 章を参照すること) 補正係数 6.25 : 視角サイズ (10' → 7') の補正 2.5 視認確率 (50% → 75%) の補正 2.5 視対象物の提示時間 (0.125 秒) の補正 1.0

5.2 今後の課題

今後は、今回提案した計算方法による計算結果と、フィールド実験での評価結果との整合を研究調査していく必要がある。両者の値にずれが生じた場合は、その原因を調査し、さらなる修正を加えていかなければならない。今回は第一段階であり暫定的な統一が目的であるため、計算式を単純化して取り扱い、計算の評価に関しても算出された可視度 (VL) が 1 を超える場合に、視認確率 75% で視対象物が視認できると判断することにした。しかし、実際の道路交通環境下では、可視度が 1 を超えても視認確率 75% を確保できない可能性がある。これは、実験における環境と実際の道路交通環境との違い、すなわち障害物の存在を事前に知っているか (先入観)、前方への集中力 (注意深さ)、運転状態か否か (心身状態) など心理・生理的要因が影響するためである。これら実験室環境と異なる要因を「環境係数」として定量化し、可視度計算に乗ずることで、より実際の道路交通環境に適した可視度を求めることができると考えられる。しかしながら、環境係数を明確化するためのデータが現状で

は少なく十分な議論がなされていないため、本委員会では今後の検討課題とした。また可視度(VL)が1を超える場合の見易さの程度も検討しなければならず、解決すべき問題は少ない。

あとがき

照明学会として初めての道路照明のビジビリティレベル（以下、可視度とする）についての報告がまとまった。この問題の研究に携わってきた者として、小野委員長、魚住、齋藤、永井の幹事はじめ委員の皆様のご努力に心からの敬意と感謝を表したい。

道路照明の視認性に関しては、1930年代の終わり頃にアメリカ、イギリス、オランダなどで組織的な研究が行われ始めて以来、約70年の年月が経過した。この間に世界各国で膨大な研究が行われたが、視認性の研究結果から道路照明の設計条件を導くことには世界のどの国も成功していない。可視度を設計の基礎としているアメリカもその例外ではない。

今回のこの委員会の活動は、これらの問題を解決する一つの可能性を明らかにした。その意味で委員会の功績は大きい。しかし、この問題が70年間に亘って解決困難であったことで明らかなように、容易に解決できるようなものではない。

その一つは、可視度が道路照明施設の視認性を表す指標ではなく、路面上のある点の、ある反射率の対象物の視認性を表現する指標に過ぎないからである。そのことは、例えば路面上の一点の可視度が0（ゼロ）であったとしても、それが、その点での視認性の欠落を意味していないことから容易に理解できる。対象物の反射率が異なれば、同じ点の可視度が0を遙かに超える高い可視度の点になり得るからである。この意味で可視度を道路照明施設の視認性と混同してはならない。

照明エネルギーの消費が環境に及ぼす影響の大きさに世界的な関心が高まっている現在、視認性を基礎として従来より遙かに高い精度の道路照明の設計条件を確立することは交通安全問題、環境問題、経済問題、技術問題のすべてに亘って極めて重要な意味をもつ。この意味で、今回の委員会の成果が将来に亘るこれらの問題解決の第一歩となることを大きく期待するものである。

顧問 成定 康平

付録資料

付録1 「道路付帯設備の視認性評価について」

北海道大学大学院工学研究科

萩原 亨

付録2 「エネルギーと環境および視覚効率をバランスさせる方法」

付録3 「高速道路照明の視認性に関する調査・研究（抜粋）」

中京大学文学部心理学科

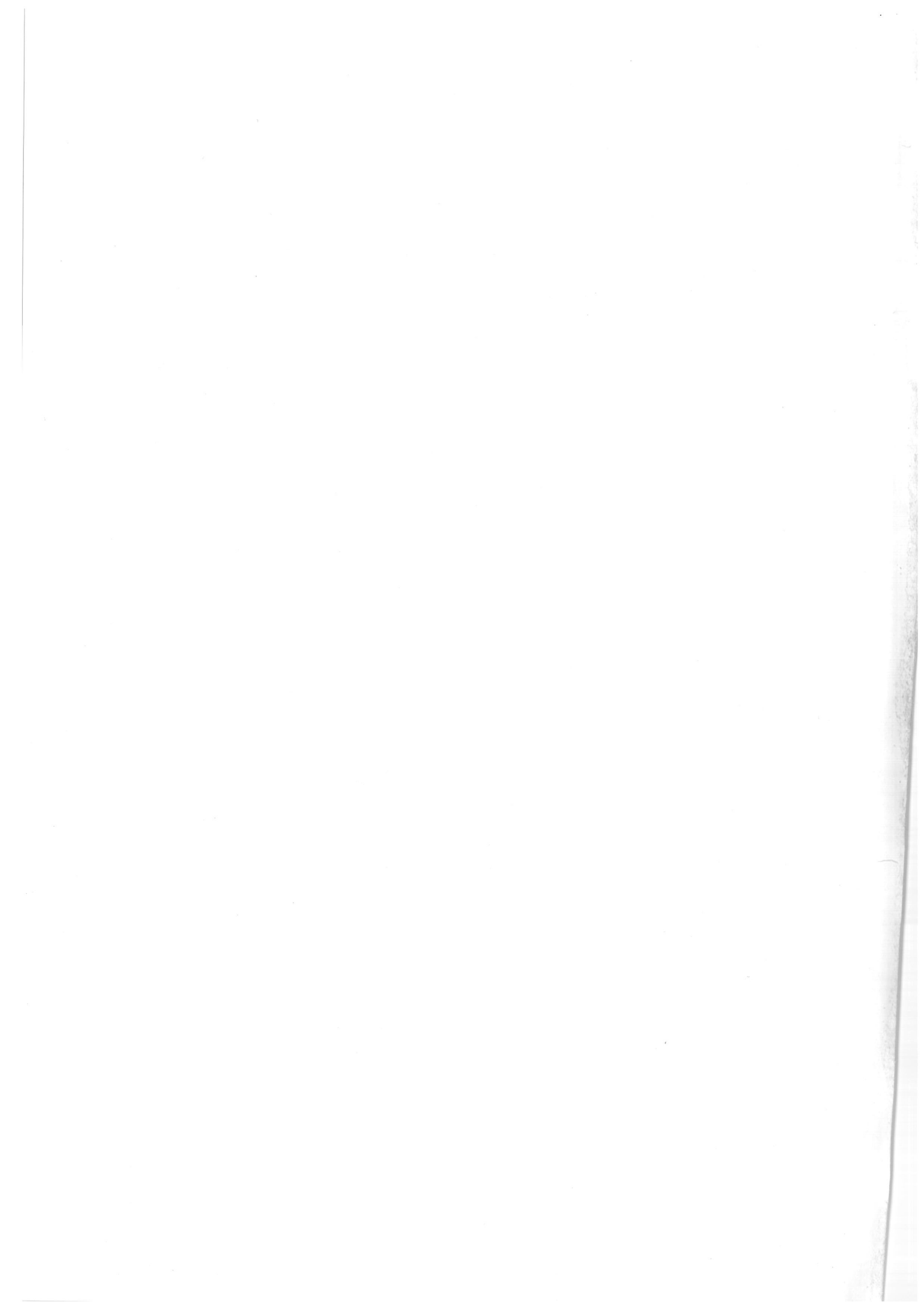
成定康平

付録4 「背景輝度の決定方法に対する試案」

付録5 「光環境における輝度の対比の定量的検討法

東京工業大学大学院総合理工学研究科

中村芳樹



1. はじめに

道路付帯設備の視認性は、運転者や歩行者の情報処理過程と深く関わっている。運転者の情報処理の流れを図1に示す。最初のステップにおいて運転者は、次に必要となるであろう情報を予め「動機」から想定する。車外から得られるさまざまな情報を探索し、想定した情報を発見する。もちろん、想定してないが必要な情報を取り込む場合もある。3番目のステップとして、探索あるいは発見した情報を読み取る。読み取った情報が必要であるか、否かを判断し、不必要な情報は記憶から消去する（フィルタリング）。必要な情報は記憶に維持する。記憶された情報を必要なタイミングに再生し、自動車操作に伝える。この一連の情報処理過程を踏まえ、世界中において種々の視認性に関する分析・評価がなされてきた。その目的は、情報伝達を明らかなものとし、快適な道路交通を実現するためである。

それでは、日本において快適な道路交通が実現されているであろうか、あるいは実現するように努力がなされているのであろうか。数え上げればきりが無いほど不思議な道路交通施設が見られる。残念ながら道路照明にしても該当する場合がある。道路交通施設が古くて新しい問題となるのは、図1に示す情報処理過程で検討された分析・評価が実際のシステムに反映されていないこと、そして情報処理過程に未知の部分が多いことが理由として上げられる。道路交通施設の意味を明らかにし、情報伝達とは何か、交通場面に応じた必要な情報とは何であるのかを明らかにしていくべきであろう。このような努力を怠り場当たり的に道路交通施設を整備すると様々な問題を生み出す。

道路交通施設による情報伝達は、利用者と設計者間のキャッチボールである。この循環システムをレベルアップすることが古くて新しい問題を解決するキーであると筆者は考えている。本講演では、主に運転者の視点から道路の視環境と道路付帯設備の視認性について分析する。

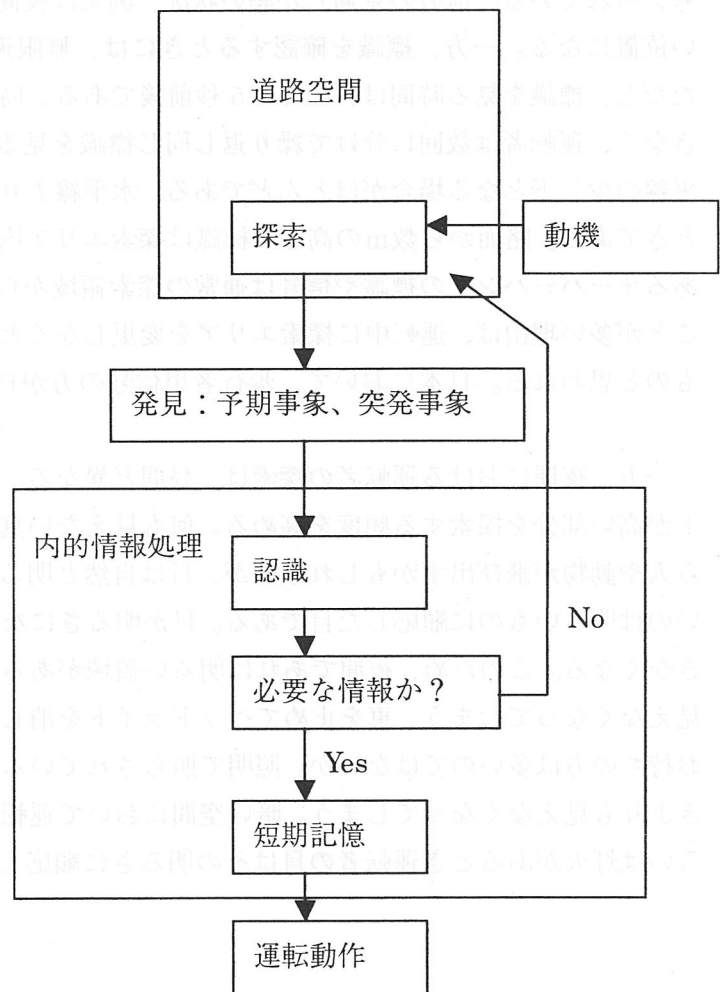


図1 運転者の情報処理の流れ

2. 道路の視環境が運転者の視覚探索挙動に与える影響について

最初に示したように運転者による探索は、正しい情報を獲得する非常に大切なパートである。ここを間違えると運転ミスに至る可能性が大きくなる。そこで、アイカメラを使って様々な視環境において探索挙動について調査してきた。アイカメラは、運転者がどこから情報を得ているかを知ることが可能な測定手法である。アイカメラの映像を用いて、以下の各々の場面における視点探索の特徴について説明する。

- ・ 浦河実験：照明の効果
- ・ 三笠実験：カーブ区間の視線誘導
- ・ 長沼実験：直線路の視線誘導
- ・ 札幌市内実験：街路における横断者の発見

運転者の道路空間における探索戦略は、中心視の方向を測定するアイカメラによって知ることができる。運転者の中心視は、昼間において道路の延長方向より若干下付近に位置している。正確な位置は、無限遠点より1度左下付近のエリアである。理由は、最も効率よく情報を道路空間全体から取るためと考えられている。前方の見通しが悪い状況、例えば夜間あるいは霧のとき、中心視の位置は運転者の近い位置になる。一方、標識を確認するときには、無限遠→標識→無限遠のように中心視を動かす。ただし、標識を見る時間は、短く0.5秒前後である。時間の短さから一つの標識を一度に完全に認識できなく、運転者は数回に分けて繰り返し同じ標識を見る。また、探索するエリアは、走行中において水平線の少し下となる場合がほとんどである。水平線より上を見る場合は前方の道路がその領域に現れるときである。路面から数mの高さの標識は探索エリア内にあり発見が容易であるが、5m前後の高さにあるオーバーハングの標識や信号は通常の探索領域から外れている。海外で信号灯が数mの高さにあることが多い理由は、運転中に探索エリアを変更しなくとも認識でき、発見しやすいことを考慮しているものと思われる。日本において、歩行者用信号の方が自然に運転中の視野に入る。

一方、夜間における運転者の探索は、昼間と異なる。夜間や低視程時において運転者は、コントラストが高い部分を探索する頻度を高める。何も見えない真暗い領域を探索することはない。暗いところから人や動物が飛び出すかもしれないが、目は自然と明るいところを探索してしまう。このとき、恐ろしいのは明るいものに順応した目である。目が明るさになれるとそれに見合った明るさの物体しか発見できなくなる。このため、夜間であれば明るい領域があると、その周囲の暗い領域にある標識や歩行者は見えなくなってしまう。車を止めてヘッドライトを消し、降りて外を見ると以外と周囲が見えた経験をお持ちの方は多いのではないか。照明で照らされているところは分かるが、その向こうは照明がないときよりも見えなくなってしまう。暗い空間において運転者は暗い物体を発見しやすいが、近くに照明あるいは灯火があるとき運転者の目はその明るさに順応し、付近の暗い物体を発見できない。

3. 運転時を考慮した視認性評価モデルに関する研究

運転者の視点から道路交通システムの視環境を考えると、運転者の視認性を考慮した道路交通システムになっていない場合が多々見受けられる。例えば、西日が差し込むとき信号機が疑似点灯する。運転者はどの色が点灯しているのか判別できない。霧や吹雪等の視界不良時に信号機・道路区画線・視線誘導灯・先行車の尾灯は、ほとんど見えない。逆に、周囲が真暗な郊外部では、視界不良時に見えなかった灯器がまぶしく感じる。また、トンネル照明で、夜間に明るく点灯し昼間に暗く点灯している場合がある。眼の順応機能を考えると、逆の制御をすべきである。これらの現象は、道路交通施設や自動車のライト類が、周囲の環境に対して適当な明るさとなっていないために起きると言える。

そこで、運転者が適度と感じる明るさの範囲を、視環境に応じて求めうるモデルを考えた。この研究で提案した視認性評価モデルの概念図を図2に示す。“運転時の下限輝度”は、「見える・見えない」の境界を基本にし、それに運転時であることを表す因子を取り入れた。具体的には限界コントラストにフィールドファクターを乗じたもので表現した。“運転時の上限輝度”は「まぶしい・まぶしくない」の境界で考え、BCD輝度で表現した。入力項目は、ターゲットの大きさ、ターゲットまでの距離および背景輝度とした。入力値に対し、視認限界輝度、“運転時の下限輝度”および“運転時の上限輝度”がそれぞれ計算され、評価基準値が出力される。ターゲットの見かけの大きさをターゲットの大きさとターゲットまでの距離から考えることとした。具体的には視角や立体角である。また、本来は背景輝度ではなく、網膜への刺戟輝度である順応輝度を用いるべきであるが、順応輝度の測定は困難であるため、背景輝度を入力することとした。

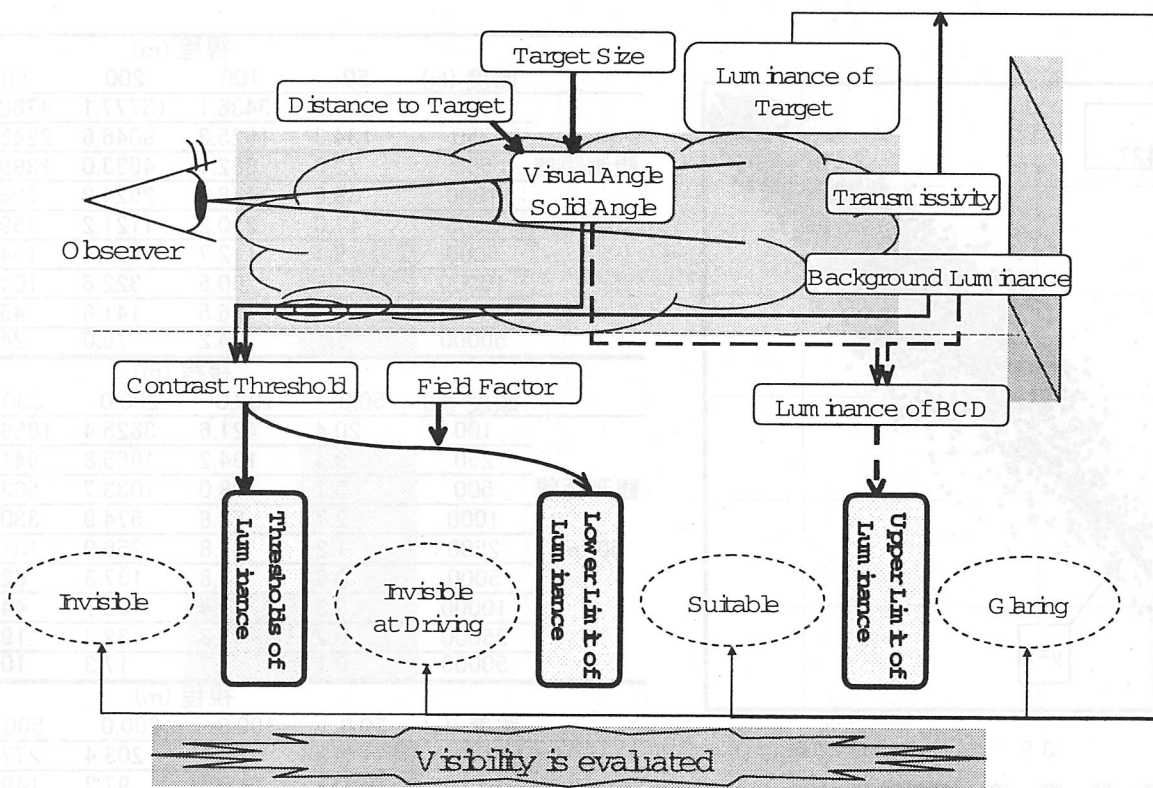


図2 視認性評価モデル

4. 霧及び吹雪時の視覚対象物コントラストのモデル化

運転者が視線誘導灯を霧において視認できるかどうかは、灯器の輝度とその背景の輝度との間に十分な差があるかどうかによって決まる。このとき、背景の輝度が視認性には重要な要因となっている。霧における背景輝度をどう考えるかによって霧対策の視線誘導の施設設計が決定されると言っても過言ではない。しかし、昼間の霧による背景がどのような輝度となるかについて示した研究例は少ない。また、同様に灯器の輝度が霧においてどのように変化するかについての研究例も少ない。そこで、霧中の背景と灯器の輝度が周囲の照度と透過率によってどう変化するかを網羅的な条件にて把握するため長時間に渡る野外観測を実施した。それらの観測データから、

- ・照度・時刻・霧の濃度による背景輝度推定モデルの同定
- ・照度・時刻・霧の濃度を説明変数とする灯器輝度推定モデルの同定
- ・輝度推定モデルを用いた霧中における灯器の要件

について検討した。図3は、昼間の霧における灯器輝度の推定結果である。また、視程4段階・照度9段階・観測距離3段階を想定し、シミュレーションを実施した。表1は、各々の計算条件におけるVLをまとめた結果である。VLが1未満となった場合を表1において灰色で塗りつぶした。同様にVLが1から10のときの場合を斜線で覆った。

表1 シミュレーション結果

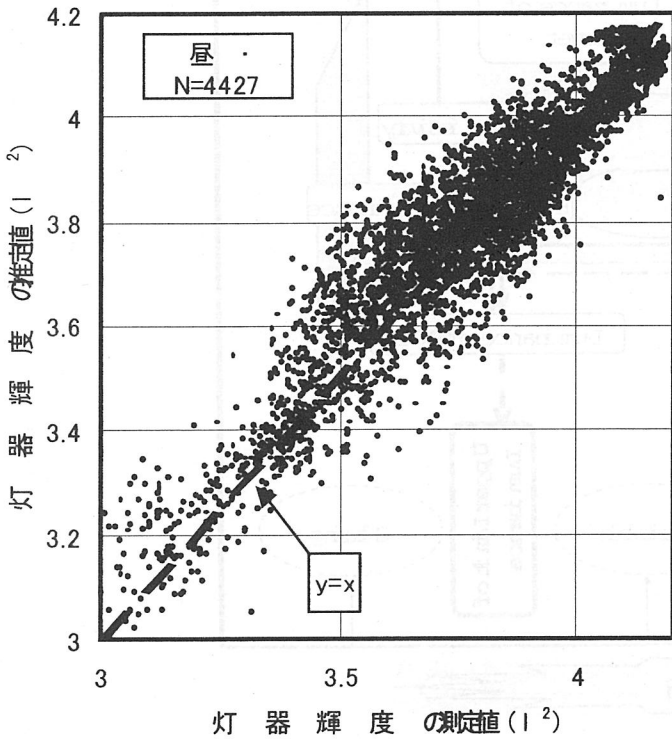


図3 昼間の霧における灯器輝度とその推定値の関係

		視程 (m)				
		照度 (lx)	50	100	200	500
観測距離	100	297.6	3436.1	15777.1	47883.5	
	250	134.3	1625.3	8046.6	22450.5	
30 (m)	500	72.0	882.1	4633.0	13992.3	
	1000	38.6	478.8	2524.2	7964.1	
50 (m)	2500	17.0	210.2	1121.2	3591.9	
	5000	9.1	112.7	601.4	1949.7	
	10000	4.9	60.5	322.6	1045.9	
	25000	2.1	26.5	141.6	459.1	
	50000	1.1	14.2	76.0	246.3	
		視程 (m)				
		照度 (lx)	50.0	100.0	200.0	500.0
観測距離	100	20.4	421.6	3825.4	18593.3	
	250	9.4	194.2	1865.8	9413.2	
50 (m)	500	5.1	108.0	1033.7	5638.3	
	1000	2.7	58.8	574.9	3303.2	
100 (m)	2500	1.2	25.8	256.0	1515.7	
	5000	0.6	13.8	137.3	822.4	
	10000	0.3	7.4	73.7	442.4	
	25000	0.2	3.3	32.3	194.2	
	50000	0.1	1.7	17.3	104.2	
		視程 (m)				
		照度 (lx)	50.0	100.0	200.0	500.0
観測距離	100	0.2	10.1	203.4	2776.7	
	250	0.1	5.0	97.2	1494.0	
100 (m)	500	0.0	2.8	57.1	888.8	
	1000	0.0	1.5	32.7	484.6	
50 (m)	2500	0.0	0.7	14.3	248.4	
	5000	0.0	0.4	7.7	133.2	
	10000	0.0	0.2	4.1	71.5	
	25000	0.0	0.1	1.9	31.4	
	50000	0.0	0.0	1.0	16.8	

注) 表中の数値はVisibility Level(VL)を表す。

5. デジタル画像データの持つ明るさ情報を用いた視認性評価に関する研究

デジタル画像データの持つ明るさ情報を用いた視認性評価が実用的であることを示す検討を行った。グレイスケールを用いて輝度・デジタル輝度（ピクセル値と呼ぶ）のコントラストを求めた。ピクセル値によるコントラストと輝度によるコントラストの関係を図4（蛍光光）、図5（太陽光）に示す。両条件とも相関係数は、0.99となり、高い相関関係が得られた。

一方、被験者を用い、視覚対象物の視認性評価実験を実施した。視認性評価と同時に画像を撮影した。画像データからは、対象物のピクセル値・背景のピクセル値を求め、ピクセル値によるコントラストを測定した。図6にコントラストと視認性得点の関係を示す。図7はコントラストの代わりにVLを用いている。VLを使うことから周囲の明るさの影響を図7から除くことができ、視覚対象物の視認性評価が容易となる。

デジタル画像の応用では、色の問題や発光体の測定などの課題がある。しかし、デジタル画像による視認性評価手法は、道路付帯設備の明るさに関する維持管理、空間全体の明るさ分布の評価において長所がある。電子デバイスの発達を考えると、今後さらに道路視環境の評価手法として期待できる。

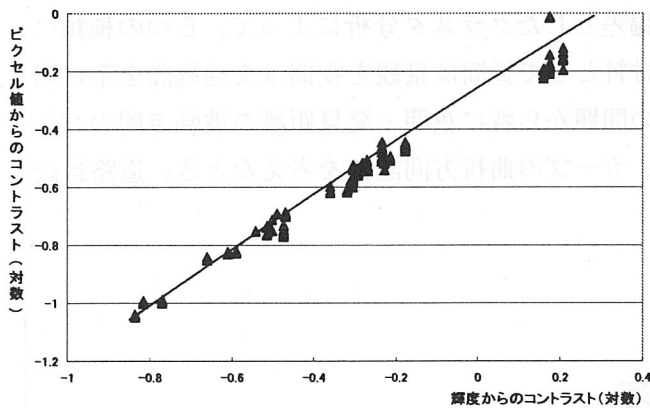


図4 輝度・ピクセル値による
コントラストの関係（室内）

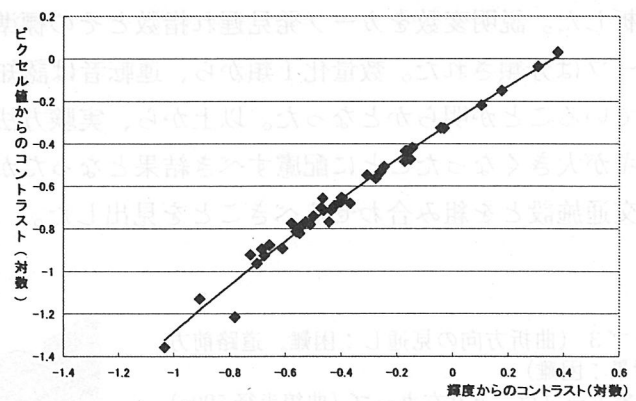


図5 ピクセル値・輝度による
コントラストの関係（太陽光）

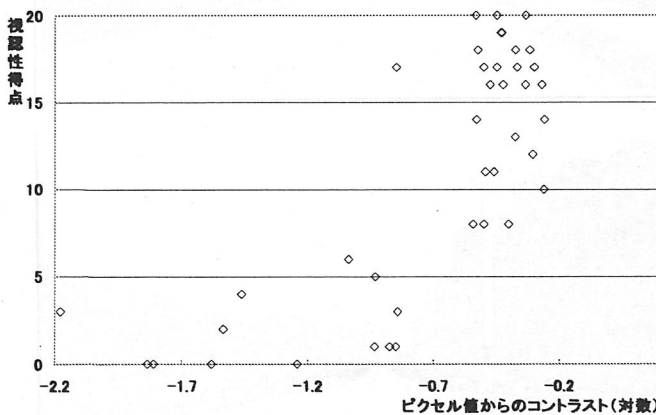


図6 視認性得点とコントラストの関係（210m）

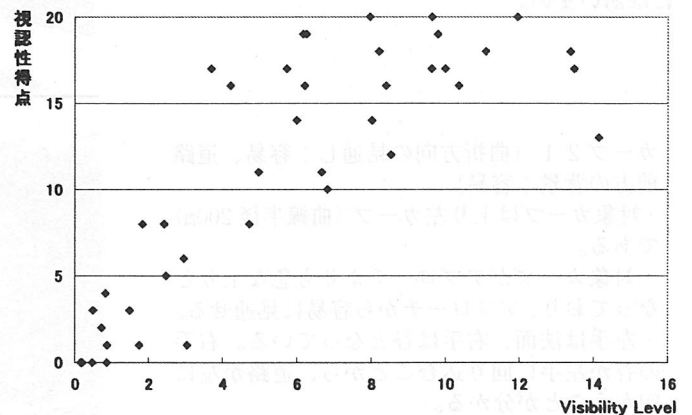


図7 視認性得点とVLの関係（210m）

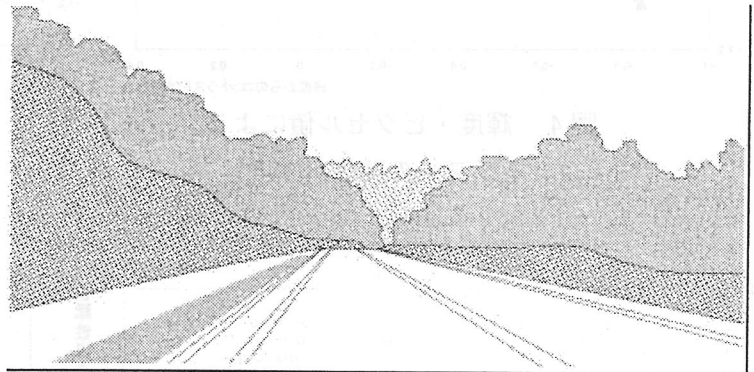
6. 道路環境ファクターを考慮したカーブ発見の認知特性に関する研究

運転者が、道路情報を正確に認識して初めて道路付帯設備の情報伝達が完了するといえる。情報が伝わったかどうかは、運転者から聞き取るものが唯一の正確な評価手法である。筆者らは、運転者の認識を調査するため専用の車両を用いている。ここで、その測定用車両を用いた研究結果について紹介する。

本研究では、カーブの曲折方向認知材料である道路景観と交通施設が運転者の曲折方向認知度に与える影響について検討した。調査は、札幌市と支笏湖を結ぶ国道 453 号線の洞爺支笏国立公園内を通過する 11km 区間にて実施した。運転者は道路前方の景観と交通施設から次のカーブの方向を認知している。道路前方の景観として 2 つの基準を設け、その内容を主観的に著者らが判定した。基準として、次のカーブを直接見通せるかどうか、背景によって次のカーブの方向が分かるかどうかを考えた。交通施設の内容と配置は、施設管理台帳と現場調査から求めた。23 名の被験者が、実験に参加した。各々の運転者は、カーブの曲折方向が分かったら可能な限り早くハンドルに付いているボタンを押すよう指示された。最大曲折方向認知地点は、実験者によって測定された。カーブ発見遅れ指数は、最大曲折方向認知距離から発見距離を差し引いた距離を最大曲折方向認知距離にて除した値と定義し、カーブ間の曲折方向認知度の比較に用いた。21 箇所のカーブで測定した発見遅れ指数は、クラスタ分析と数量化 I 類によって分析した。説明変数をカーブ発見遅れ指数とその標準偏差としたクラスタ分析によって、6 つの種類にカーブは分類された。数量化 I 類から、運転者は認知材料として昼間は景観を夜間は交通施設を主に用いていることが明らかとなった。以上から、実験方法の問題から特に夜間・発見距離の被験者間のバラツキが大きくなったことに配慮すべき結果となったが、カーブの曲折方向認知を考えたとき、道路景観と交通施設とを組み合わせるべきことを見出した。

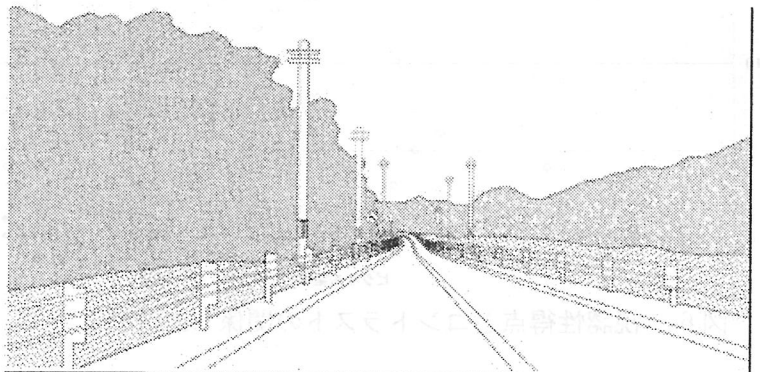
カーブ 3 (曲折方向の見通し：困難、道路前方の背景：困難)

- ・対象カーブは、上り右カーブ (曲線半径 500m) である。
- ・アプローチからカーブに至る勾配の関係から、前方の線形を見通せない。
- ・若干左の背景が前方にて右に伸びていることが図から読み取れるが、道路の方向を判定するにはあいまい。



カーブ 21 (曲折方向の見通し：容易、道路前方の背景：容易)

- ・対象カーブは上り左カーブ (曲線半径 200m) である。
- ・対象カーブがアプローチよりも急な上りとなっており、アプローチから容易に見通せる。
- ・左手は法面、右手は谷となっている。右手の谷が左手に回り込むことから、道路が左に向かうことが分かる。



7. 運転者の記憶容量とメンタルワークロード

道路交通施設の視認性改善効果は、必要な情報を提示するときには有効である。しかし、許容できる運転者の情報量がどの程度であるのか、情報を取ることが運転に与える負担について、別途考える必要がある。そこで、運転者の記憶容量の評価、及び情報が運転者に与える負荷、運転者から見ると情報を得ることの負担評価にトライした。

筆者らは、提供されている情報として道路標識を取り上げ、道路標識の表示量として「chunk」を用いて表現し、短期記憶について定量的な検討を行った。検討した項目は、運転者が視覚的に読み取った情報を一度に記憶できる限界表示量と情報を記憶してから読み出すまでの時間によって記憶がどれだけ衰えるかについてであった。実験結果から、実際の運転時における作業負担に近い場合で、3chunkまではどの標識もほとんどの運転者が記憶可能な標識となっている。経過時間による記憶の低下も、あまり見られなかった。

一方、携帯電話を用いて、会話の軽重や年齢によって主観的負担と反応時間がどうなるかについて検討した。主観的な負担評価は NASA-TLX を運転者用に改良することから実施した。被験者に対する分かり易い説明が、実験時のポイントであった。一方、客観的な評価は、反応時間と追従挙動を用いた。主観的な評価と客観的な評価を組み合わせることから、運転者の置かれた状況を的確に示しうることを見出した。

8. まとめ

道路付帯設備の視認性と運転者の関係について述べてきた。道路交通問題の原因が道路である、あるいは人間であるというように単純に捕らえるべきではない。原因は、両者の連鎖として捕らえるべきである。技術者は、多くの事故の原因連鎖において大きな役割をもっている。安全対策は様々な技術の組み合わせである。運転者と道路のインターフェースは目からの情報であり、視認性が道路の情報伝達として重要である。道路照明のみではなく、視環境について多くの知恵と技術が、道路からの情報を運転者に伝達するため必要である。照明学会にこのような役割を担っていただけることを期待したい。

参考文献

- (1) "場の技術"としての標識・標示、萩原 亨、交通工学、論説、Vol.35、No.1、2000
- (2) Study on Driver Eye Fixation Points on Curved Road, Naoki Yorozu, Hideki Takagi, Toru Hagiwara, Proceedings of 6th World Congress on Intelligent Transport Systems, CD-ROM 1/1, November 1999
- (3) フィールドファクターを考慮した視認性評価モデルに関する研究、中西真史、萩原亨、自動車技術会、学術講演会前刷集 975、205-208、1997
- (4) Target Luminance in Snowstorms as a function of Illuminance Conditions and Visual Range, T. HAGIWARA, Y. KAJIYA, H. AKASAKA, Y. MATSUMOTO, S. KOBAYASHI, K. Mima and R. IMAZU, 5th International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, TRB, 2000.
- (5) 昼間の霧発生時における視線誘導灯の視認性に関する研究、萩原亨、ロベルト トクナガ、小野寺雄輝、今津隆二、土木計画学研究・講演集 23、2000.11
- (6) Effects of Luminance and Color on Drivers Visibility during Snowstorm in the Daytime, Toru Hagiwara, Tokunaga A. Roberto and Yasuhiko Kajiya, Proceedings of the 9th SIRWEC Conference, 1998, pp. 115-128.
- (7) 霧中における輝度コントラスト及び発光色が視線誘導灯の視認性に与える影響について、萩原亨、小野寺雄輝、中西真史、土木学会、土木計画学研究・論文集、No.15、1998*、pp.849-855.
- (8) Application of a High-Quality Digital Still Camera to Measurement of Target Contrast on a Road, Toru Hagiwara, Roberto A. Tokunaga and Shouji Kobayashi, Proceedings of 6th World Congress on Intelligent Transport Systems, CD-ROM 1/1, November 1999
- (9) デジタル画像データの持つ明るさ情報を用いた視認性評価に関する研究、萩原亨、岡村智明、佐々木拓、加賀屋誠一、交通工学研究会、第 19 回交通工学研究発表会論文報告集、(93-96)1999.12
- (10) 道路環境ファクターを考慮したカーブ発見の認知特性に関する研究、鈴木健太、萩原亨、加賀屋誠一、大沼秀次、土木学会、土木計画学研究・講演集 22(2)、975-978、1999.10
- (11) Effects of Conversation Through a Cellular Telephone while Driving on Driver's Reaction Time and Subjective Mental Workload, R. Tokunaga, T. Hagiwara, S. Kagaya and S. Onodera, TRB, Paper No.00-1480, 2000.
- (12) 自動車運転中の携帯電話使用・操作に関連する問題の研究、トクナガ・ロベルト、小澤正志、萩原亨、高木秀貴、下条晃裕、自動車技術会、自動車技術会・論文集、Vol.30、No.1、1999、pp.127-131
- (13) Short-term Memory Capacity of a Driver in terms of Chunk displayed on Road Traffic Signs, Toru Hagiwara, Tsukasa Uotsu, Roberto A. Tokunaga and Takashi Nakatsuji, Proceedings of 5th World Congress on Intelligent Transport Systems, CD-ROM 1/1, 1998

以上

エネルギーと環境および視覚効率をバランスさせる方法

中京大学・成定康平

概要

エネルギーや環境に関連する照明の問題は、不適切な、あるいは過剰な光と電気エネルギーの消費から生じている。問題を緩和するために、20世紀全般に亘って照明システムの効率の改善に努力が払われた。来るべき21世紀に執るべき段階は、上述の手段に加えて、照明の設計レベルの再検討であろう。

近年における視覚工学の進歩を基礎に、一様でない視野における輝度差弁別閾の詳細な分布を検討する方法が実用化された。

この方法を用いて、一例として道路照明において、照明器具の配列を変えた場合の視覚効率の分布を比較した。その結果、照明レベルは視覚効率の決定的な要素ではないことを明らかにすると同時に、適切な輝度と照度の分布を組み合わせることによって、低い照明レベルで視覚効率を維持できる可能性を示す。

1. 緒言

20世紀の初頭から、科学知識の進歩と種々の分野における工学と技術の進展の結果、照明システムの効率は著しく向上し、照明コストは、急速に低下した。照明コストの低減によって照明の応用分野は屋内から屋外へと地球的規模で拡大し、照明のレベルは年々急速に増大した。このような傾向は、照明用電力の大規模な増大をもたらした。

照明用エネルギーの消費増加は、少なくとも部分的にエネルギーの不足を加速した。この数十年における、このような急速で大規模な光とエネルギーの消費増加は、照明の好ましくない影響を幾つかを表面化させた。

好ましくない影響の主要なものは

- (1) グレアによる夜間の視環境の劣化
 - (2) 夜間の天空輝度の増加に伴う天文観測への障害
 - (3) 照明用電力の発電に関連する大気汚染
- である。

2. 過去と現在の対策

これらの問題を緩和するために我々が必要とするのは、照明の質を損なうことなく、照明エネルギーの消費を削減することであり、人工照明施設からの漏れ光を減少させることである。

過去から現在までの対策は、ランプの発光効率を改善し、照明システムの電氣的・光学的効率を向上させることによって必要な照明レベルを確保しながら電力消費を削減させることであった。この対策は、今世紀全般に亘って成功を収めてきた。

照明技術者が執るべき次の対策は、照明の効果を減少させることなく、照明のレベルを低減させることである。

1973年に勃発した第一次石油危機以来、数カ国で数分野の推奨照度が若干低減された[1]。しかし、このような

推奨照度の低減を実行する場合には、強固な科学的背景や照明の他の要素の改善によって、低減された照明の効果の減少を補うような手段を与えることが極めて重要である。照明エネルギーを削減することだけを目的とする照度レベルの低減は避けなければならない。さもなければ、照明の規格・勧告は社会的な信用を失墜し、好ましくない結果を招くであろう。

3. 将来の対策

照明の規格・勧告には、科学的研究や工学的経験を基礎として、視覚効率あるいは視覚快適性を確保するための基準が幾つか規定され、必要な照明の質を維持するために必要な最低のレベルか許容限界が与えられている。

しかし、これらの基準の相対的な重要性は、照明の分野や性質で異なっている。時間的な制約のため、ここでは視覚効率 (Visual Performance)^{*)}が最も重要な照明について検討する。このような照明の一例は道路照明のである。

道路照明の規格・勧告には、視覚効率を維持するための、少なくとも三つの基準が規定されている[2]。

それらは、平均路面輝度 (Lr)、総合均斉度 (Uo)^{**)}、および視機能低下グレアの許容限度 (TI)^{**)}である。

規格・勧告に適合するためには、上述の三つの基準の何れもが、規格・勧告の推奨範囲外にあってはならない、と言うのが一般的な合意である。

この結果、経済的な範囲で平均路面輝度 (Lr) と総合均斉度 (Uo) はできるだけ高く、視機能低下グレアはできるだけ少なくすることが設計の一般的傾向である。

このため、照明設計者は過剰な質の照明を設計する傾向がある。過剰な照明を避けるためには、基準相互間の互換性^{*)}を確立する必要がある。もし互換性が成立すれば、照明設計者は、設計する照明の目的に応じて、設計値を更に合理的に選択できるようになる。例えば、視覚効率を確保するために、高い照明レベルと低い総合均斉度および緩やかな視機能低下グレアの制限を組み合わせることもできるし、低い照明レベルに高い総合均斉度と厳しい視機能低下グレアの制限を組み合わせることもできる。

21世紀には、照明の基準は照明の質に関して統合されなければならないし、統合のための研究が必要になる。これこそ、21世紀におけるCIEの対策の一つである。

4. 視覚効率と照明

この論では、視覚工学の最近の進歩を基礎にして、道路照明を一例として、視覚効率に関連する基準間の互換性を確立できる可能性を簡単に示す。

4.1 視覚効率 (Visual Performance) (脚注2参照)

視覚効率は、その照明によって行われる視作業の速度と精度であると定義される[3]。視覚効率は、その作業を行

*1) 照明用語集などでは、Visual Performanceは、視作業を実行する際の速度や正確さを意味する。JIS Z 8113では「視作業性能」と訳しているが、ここでは「視覚効率」とした。

*2) 視認性に関する路面の輝度分布に関する規定。平均路面輝度 (Lr) と路面上の輝度の最低値 (Lmin) の比、Lmin/Lrで表す。快適性に関する輝度分布には別の規定がある。

*3) 平均路面輝度を規格・勧告の基準値より高くしたときには総合輝度均斉度を基準値より低くして良い、と言うような相互の補完性をここでは互換性と呼ぶ。

(注) 本論文は著者が1999年のCIEワルシャワ大会で行った下記の特別講演の内容で、CIEワルシャワ大会の議事録に英文で掲載されたものをCIEの許可を得て掲載・翻訳したものである。

NARISADA, K. "Balance Between Energy, Environment and Visual Performance",

Proceedings of the 24th Session of CIE at Warsaw, Poland, Vol.1:Part1,17-22,

Commission Internationale de l'Éclairage, 133-1999

人間の輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) が減少するか、識別すべき対象物の輝度 (L_o) とその背景の輝度 (L_b) の間の輝度差 (ΔL) が増加するにつれて改善される。

4.2 可視度 (Visibility Level)

照明に関連する視覚効率を検討するために、この論では可視度を用いる。

可視度は、対象物の輝度 (L_o) と背景の輝度 (L_b) の差 ($\Delta L = |L_o - L_b|$) と輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の比 ($\Delta L / \Delta L_{min}$)、あるいは背景に対する対象物の輝度対比 ($C = \Delta L / L_b$) と輝度対比弁別閾 ($C_{min} = \Delta L_{min} / L_b$) の比、すなわち C / C_{min} の比と定義される。

問題を単純にするために、ここでは視覚効率に影響を与える他の重要な要因、たとえば、対象物の大きさ、観測者の年齢などの影響については検討しない。

4.3 輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) か輝度対比弁別閾 (C_{min}) か?

上述のように、可視度は輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) でも輝度対比弁別閾 (C_{min}) でも取り扱うことができる。しかし、照明レベルを可視度との関連で取り扱うためには、何れか適切なものを選択する必要がある。その選択は、対象物の輝度 (L_o) と背景の輝度 (L_b) が照明レベルの変化に対してどのように変動するか、によって決まる。

例えば、室内照明の場合、印刷された文字・図およびそれらが印刷されている紙 (背景) の輝度は照明レベルの変化に応じて同じ割合で変動する。したがって背景の紙に対する文字や図の輝度対比 (C) は、照明レベルに関係なく一定である。このような場合、輝度対比弁別閾 (C_{min}) を使用すると便利である。

道路照明施設のランプ光束を変化させたときも、路面上の各点の輝度 (L_p) と対象物の輝度 (L_o) は照明レベルと同じ割合で変動する。したがって、路面上の各点の対象物の輝度対比 (C) は、照明レベルが変化しても変動しない。このような条件の下では、可視度を輝度対比弁別閾 (C_{min}) で取り扱うことができる。

しかし、これは道路照明の照明レベルを変化させる唯一の方法ではない。道路に対する照明器具の配置を変えても照明レベルは変動する。照明器具の配置は、取り付け高さ、配列あるいは道路の長さ方向の間隔を変化させることによっても変えることができるからである。

(1) 取り付け高さ

照明器具の取り付け高さを変えることによって、照明レベルが変化する。通常、取り付け高さが高くなるにつれて照明レベルは低下する。

(2) 配列

道路に沿う照明器具の配列を変えることによって照明レベルを変化させることができる (図1、図7参照)。例えば、向き合わせ配列は片側配列や千鳥配列の約2倍の照明レベルを得ることができる。

(3) 取り付け間隔

ポールとポールの間隔を変化させると照明レベルを変えられることができる。これは、道路照明の設計では最も頻繁に起こる照明レベルの変化方法である。

これらの条件のもとでは、図1 (A) に示すように、照明器具と対象物の (運転者から) 見える面との距離と同時に対象物を照射する光の角度が対象物の存在場所によって様々に変化する。

このため、路面上の異なった場所における対象物の "見える面" の輝度 (L_o) の変動は、照明レベルの変化とは

異なる。同様に、図1 (B) に示すように、対象物の背景となっている路面の部分と照明器具との距離や入射する光の角度も路面の一によって個別に変化する。この結果、照明レベルの変化に対して、路面の輝度分布が複雑に変動すると同時に、路面上の各点における対象物の背景輝度 (L_b) も個別に変動する。したがって、路面上の各点における対象物の輝度対比 (C) は照度レベルの変化に対して異なった変化を生ずる。

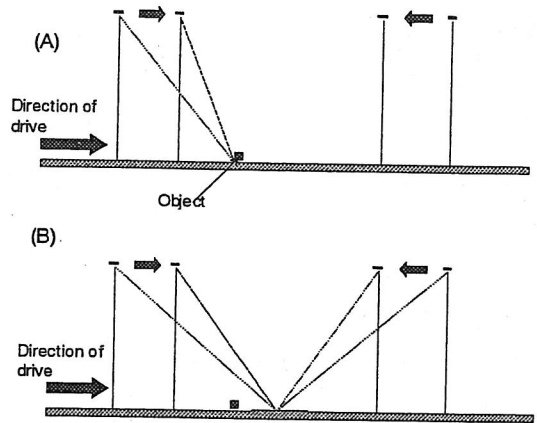


図1 照明器具の配置の変更に伴う照明条件の変動、(A) 対象物の "見える面" と (B) 路面の対象物背景となっている部分との照射角度と距離の変化

このような理由から、道路照明の可視度を検討するに際して輝度対比弁別閾 (C_{min}) を用いることは、適切ではなく、輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) を用いるのが適切である。

5. 可視度 (VL) に関連する問題

5.1 一様な視野に対する輝度差弁別閾 (ΔL_{min})

輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) と照明レベル (L_b) の関係は、可視度に関する基礎である。

実験条件を単純化し、一般化するために現在の照明に関する規格・勧告が基礎としている研究のほとんどが対象としているのは、一様な背景輝度に対する視認である [3][4]。

一様な視野は、実験に際して2つの役割を同時に担っている。一つは、観測者の眼を順応させるための輝度刺激としての役割であり、他の一つは、視認すべき対象物の背景輝度としての役割である。したがって、一様な視野に対する実験では、順応輝度 (L_a) と背景輝度 (L_b) はいつも等しい。

5.2 不均一な視野における順応輝度 (L_a) と背景輝度 (L_b)

実際のほとんどの場合は、視野は一様ではない。この場合には順応輝度と背景輝度は複雑な関係になる。

(1) 順応輝度 (L_a)

眼球は非常に早さで運動するために、網膜に投影される外界の輝度は、観測者が一様でない視野の各部に視線を走らせるに伴って、瞬間々に不規則に変化する。

しかし、順応輝度 (L_a) は、網膜の内部の光化学反応で決まるので変化の速度が緩やかで、輝度刺激の瞬間的な変動に迅速に追従することはできない。このため、観測者の眼は、一様でない視野の各部に走らせた輝度の時間的な

平均に順応していると仮定できる。

(2) 背景輝度 (Lb)

一方、背景輝度は一様でない視野の中にある、対象物から他の対象物へと移動する眼球運動によって瞬間・瞬間に変化する。

(3) 順応輝度 (La) と背景輝度 (Lb)

この結果、一様でない視野に対しては、観測者の眼の順応輝度 (La) と対象物の背景の輝度 (Lb) は必ずしも同じではない。

このため、一様な視野 (La = Lb) に対する実験の結果は、一様でない視野の各部における可視度の詳細な検討に適用することはできない。

一様でない条件における輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) を知るためには、

- (1) 順応輝度 (La) と輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の関係
- (2) 背景輝度 (Lb) と輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の関係を別々に取り扱わなければならないからである。

6. 輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) に及ぼす順応輝度 (La) と背景輝度 (Lb) の影響を分利する実験

上の二つの関係を確立するために、2系列の実験を行った[5]。

本来、この研究は日中、自動車用トンネルに接近中に起こるブラックホール効果を解決するために行ったものである[5][6]。

なぜなら、昼間、トンネルに接近中の自動車の運転者は、明るい取り付け道路周辺の高輝度に順応した眼で、暗いトンネルの内部に存在するかも知れない対象物 (落下物や自動車) を発見しなければならないからである。

この実験の結果は、最近、道路照明の下での一様でない条件にも適用されている[7][8][9]。

6.1 シリーズ (1) の実験

6.1.1 実験条件

(1) 予備順応

このシリーズの観測者の眼は、図2の上の左側に灰色の円で示す視角直径3度の小さい円形の視野の輝度 (Lb) に予備順応させた。

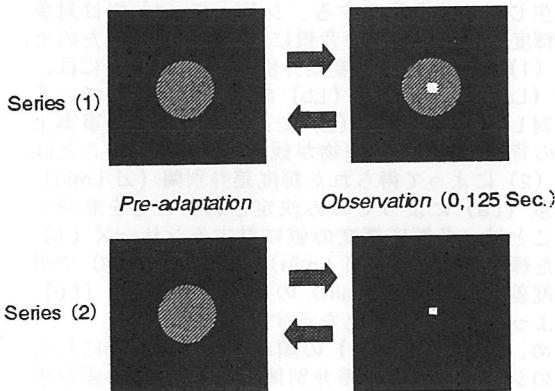


図2 シリーズ (1) と (2) の観測者の視野の変化

実験に比較的小さい視野を選んだのは、大きい視野の場合、周辺部の輝度が眼球の内部で散乱することによって生ずる光幕輝度が視認に及ぼす影響をできるだけ小さくするためである。

(2) 対象物の提示、背景輝度 (Lb) および順応輝度 (La)

観測者の眼を、円形視野の輝度に対して十分順応させた後、図2上の右側に示すように、円形視野の中心に、視角寸法7分の正方形の対象物を0.125秒 (1/8秒) 間提示した。この実験の場合、観測者の眼の順応輝度と提示された対象物の背景輝度は等しい。

6.1.2 シリーズ (1) の結果

(1) 結果

図3(A) (B) の曲線 (1) は、La = Lb の条件下で行ったシリーズ (1) の観測結果を示す。

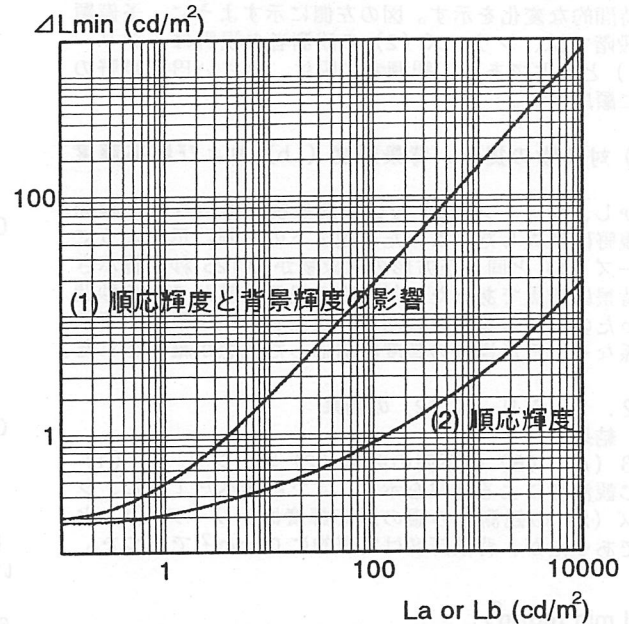


図3 (A) シリーズ (1) および (2) の結果

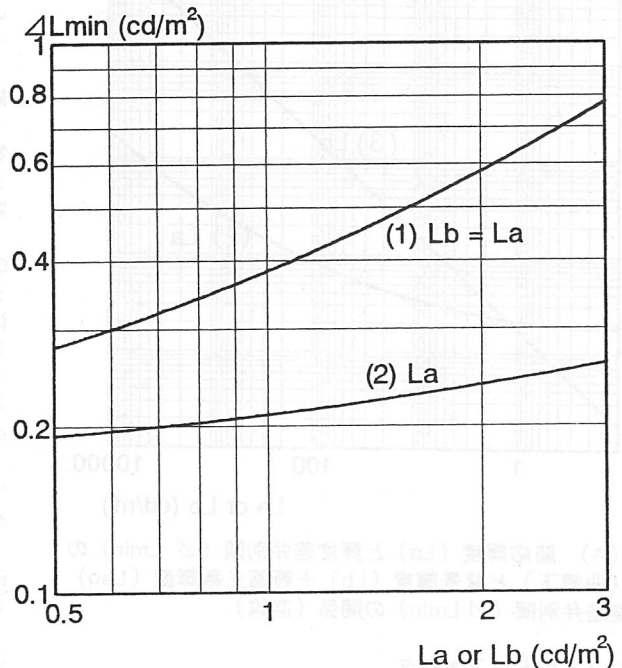


図3 (B) 実験シリーズ (1) の結果の道路照明領域の拡大

(2) フィールド・ファクタ

図3 (A) (B) の縦軸の輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の値には、前照灯に対するフィールド・ファクタ 4 ではなく、道路照明に対する 3 を含んでいる。

図3 (B) は図3 (A) のうち、道路照明の対象となる背景輝度 0.1 から 3cd/m^2 の範囲を拡大して示したものである。

6.2 シリーズ (2)

6.2.1 実験条件

(1) 予備順応

図2の下は、シリーズ (2) の実験における観測者の視野の時間的な変化を示す。図の左側に示すように、予備順応の段階では、シリーズ (2) の観測者の視野は、シリーズ (1) と同じであり、観測者の眼は、小さい円形視野の輝度に順応する。

(2) 対象物の提示、背景輝度 (L_b) および順応輝度 (L_a)

しかし、シリーズ (2) では、対象物が提示された瞬間、円形視野は消失した。このため図2下の右側に示すように、シリーズ (1) と同じ正方形の対象物が 0.125 秒間提示された背景は暗黒であった。対象物の提示は僅か 0.125 秒間であったので、対象物を観測中、観測者の眼は暗黒の背景に関係なく、円形視野の輝度に順応した状態が維持された。

6.2.2 シリーズ (2) の結果

(1) 結果

図3 (A) (B) の下側の曲線 (2) は、シリーズ (1) と同じ観測者による結果を示す。すでに述べたように、シリーズ (2) の観測者の眼の順応輝度はシリーズ (1) と同じであったが、背景輝度は実質的に 0cd/m^2 であった。

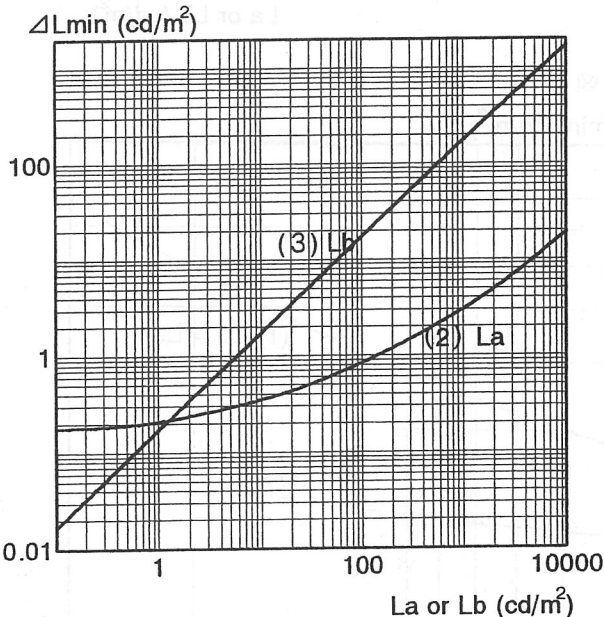


図4 (A) 順応輝度 (L_a) と輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の関係 (曲線下) と背景輝度 (L_b) + 等価光幕輝度 (L_{eq}) と輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の関係 (直線)

(2) フィールド・ファクタ

図3 (A) (B) の輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の値にも、フィールド・ファクタ 3 が含まれている。

6.3 シリーズ (1) とシリーズ (2) の比較

6.3.1 輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の差異

図3 (A) (B) に示されるように、シリーズ (1) で得られた輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の値は、同じ順応輝度に対するシリーズ (2) で得られた輝度差弁別閾の値よりかなり大きい。

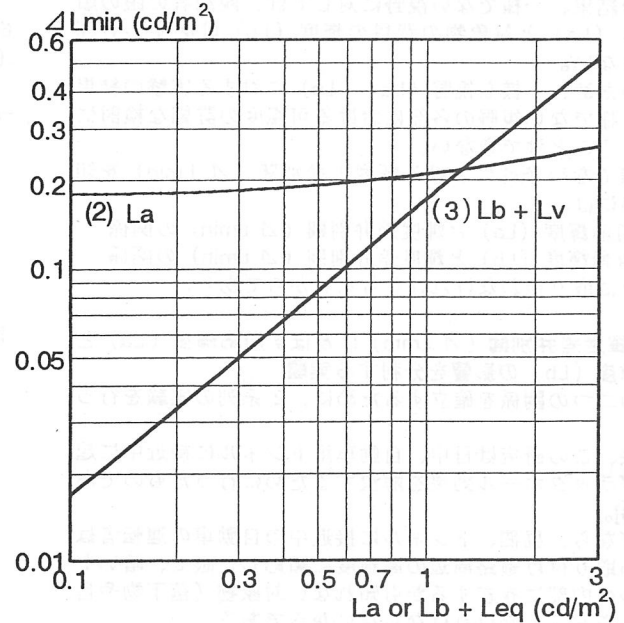


図4 (B) 輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) と順応輝度 (L_a) あるいは背景輝度 (L_b) + 光幕輝度 (L_v) の関係

6.3.2 差異の原因

順応輝度 (L_a)、対象物の視角寸法および提示時間 (0.125 秒) は両シリーズの実験とも同じであった。唯一の差は、対象物が提示された瞬間の背景の輝度の有無であった。

このことは、ある順応輝度 (L_a) に対する輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の差は、瞬間的な背景輝度 (L_b) の差によってのみ生じたことを意味する。シリーズ (1) では対象物が順応輝度と等しい輝度の背景に対して提示されたので、シリーズ (1) で得られた輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) には、順応輝度 (L_a) と背景輝度 (L_b) の影響が含まれている。

これに対して、シリーズ (2) では、その輝度が事実上 0cd/m^2 の背景に対して対象物が観測された。このことは、シリーズ (2) によって得られた輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) は順応輝度 (L_a) によってのみ決定されたことを意味する。このことは、各順応輝度の値に対するシリーズ (1) で得られた輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) とシリーズ (2) で得られた輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の差は、背景輝度 (L_b) の影響によって生じたことを示す。

このため、図3 (A) (B) の順応輝度の全領域に対して、二つのシリーズの輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の差を求めた。

図4 (A) (B) の曲線 (3) は、図3 (A) (B) の、曲線 (1) に対応する、観測の瞬間、背景輝度が存在するときの背景輝度 (= 順応輝度) の変化に対する輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) と、曲線 (2) に対応する背景輝度の存在しない時の順応輝度の変化に対する輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) との差を示す。

曲線 (3) は事実上直線であり、輝度差弁別閾 (ΔL_{min})

は、背景輝度に比例して変動する。その値は背景輝度の約17.5%である。

図4 (A) (B) には、この図を用いる際に便利なように、順応輝度 (L_a) に対応する輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の関係を示す図3 (A) (B) の曲線 (2) を再度示している。

一様でない視野の任意の一点における輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) は、図4 (A) (B) の曲線 (2) で与えられる順応輝度に対する輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) と、曲線 (直線) (3) によって与えられる背景輝度 (あるいは背景輝度とグレアによる等価光幕輝度の和) に対する輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の和である。

6. 3. 3 グレア源によって生ずる等価光幕輝度 (L_{eq}) の影響

(1) 背景輝度 (L_b) に対する影響

もし対象物ヲ見ている方向 (附近) に存在するグレア源によって生じた等価光幕輝度 (L_{eq}) が視野に重畳していたとすると、その輝度の値 (L_{eq}) は、背景輝度に加えることができる。すなわち、背景輝度は $L_b + L_{eq}$ に増加したと考えて良い[11][12][13]。

(2) 順応輝度 (L_a) に対する影響

等価光幕輝度 (L_{eq}) は、一様でない視野の種々な方向に視線を向ける眼球運動にしたがって刻々変動している。しかし、網膜上に投影される外界の輝度の急速な変化の場合と同様に、順応輝度 (L_a) は、等価光幕輝度 (L_{eq}) の瞬間的な変化にも追従できない。

次の6. 4 で検討するように、等価光幕輝度 (L_{eq}) による順応輝度の変動が輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) に及ぼす影響は少ない。

6. 4 順応輝度の推定値の精度の影響

図4 (A) (B) の曲線 (2) が示すように、順応輝度 (L_a) の広範な変動に対して、これに対応する輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の絶対値も変化も、曲線 (3) に示す輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の背景輝度 (L_b) に対する変化に比較すると非常に少ない。順応輝度が低くなると順応輝度の影響は大きくなるが、この領域では順応輝度の変化に対して輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) はほとんど変化しない。

このことは、順応輝度の推定値の精度が重大な誤差を生ずる可能性の少ないことを意味している。したがって、等価光幕輝度の変動が順応輝度 (L_a) に及ぼす影響も、等価光幕輝度が背景輝度より異常に大きい場合を除いて無視できる。

このような理由から、工学的な目的に対しては、重畳される等価光幕輝度 (L_{eq}) の量に関係なく、主要な対象物が出現する視野の範囲の平均輝度を順応輝度 (L_a) として差し支えない。

7. 一様でない視野における輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の求め方

7. 1 原理[9][10][11][12][13]

一様でない視野の一点における輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) は、順応輝度 (L_a) に対する輝度差弁別閾 (ΔL_{min-a}) と背景輝度 (L_b) に対する輝度差弁別閾 (ΔL_{min-b}) を加えることによって求めることができる。

すなわち、

$$\Delta L_{min} = (\Delta L_{min-a}) + (\Delta L_{min-b})$$

である。

7. 2 基本的な手順

図4 (A) (B) に示す実験結果を基礎として、次に示す手順で、一様でない視野のどここの点における輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) でも求めることができる[9][10]。

- (1) 視野の中の主要な対象物が出現する部分の平均輝度を測定か計算で求め、順応輝度 (L_a) とする。
- (2) 図4 (A) (B) の曲線 (2) の順応輝度 (L_a) に対応する輝度差弁別閾 (ΔL_{min-a}) を読みとる。
- (3) 対象物の直接周辺の輝度を測定するか計算し、背景輝度 (L_b) を求める。
- (4) 対象物の方向の視野内のグレア源による等価光幕輝度を測定あるいは計算で求める。
- (5) 背景輝度 (L_b) および等価光幕輝度 (L_{eq}) を加算する。ただし等価光幕輝度 (L_{eq}) が無視できる場合は L_b を用いる。
- (6) 曲線 (3) の $L_b + L_{eq}$ に対応する輝度差弁別閾 (ΔL_{min-b}) の値を読みとる。
- (7) ステップ (2) で得られた輝度差弁別閾 (ΔL_{min-a}) とステップ (6) で得られた輝度差弁別閾 (ΔL_{min-b}) を加算する。これが視野内のその点における輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) である。

7. 3 簡略法

輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) を簡単に求めるためには、図5に示す曲線群を用いることもできる。パラメータは順応輝度 (L_a) である。

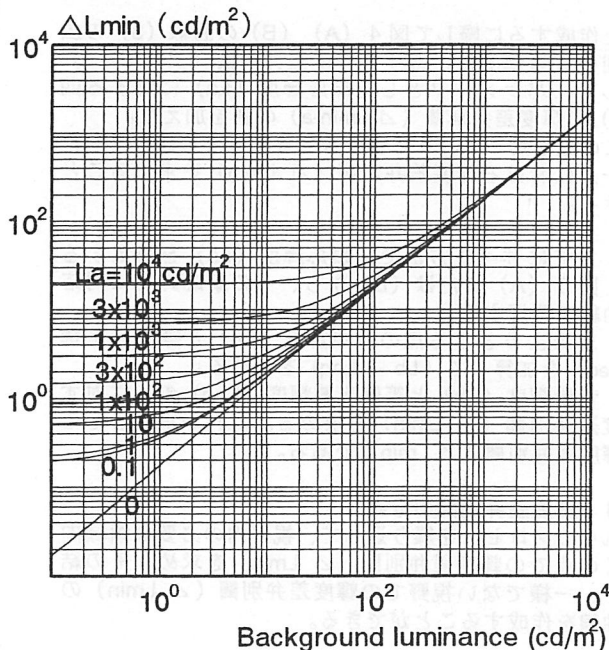


図5 (A) 背景輝度 (L_b)、等価光幕輝度 (L_{eq}) および順応輝度 (L_a) と輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の関係

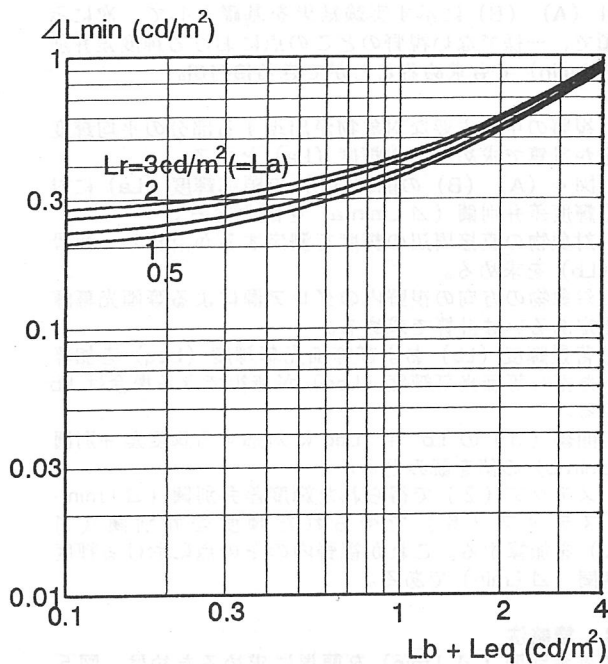


図5 (B) 輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) と、背景輝度 (L_b)、等価光幕輝度 (L_{eq}) および順応輝度 (L_a) の関係

図を作成するに際して図4 (A) (B) の曲線 (3) の広い範囲の背景輝度に対応する輝度差弁別閾 (ΔL_{min-b}) に対して、パラメータとした順応輝度 (L_a) に対する曲線 (2) の輝度差弁別閾 (ΔL_{min-a}) の値を加えた。

この図を用いて、次のようなプロセスで一様でない視野の一点における輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) を求めることができる。

- (1) すでに述べた方法で、順応輝度 (L_a) を決定する。
- (2) 図5 (A) または (B) から、その順応輝度に対応する曲線を選択する。
- (3) 求めようとする点の背景輝度 (L_b) と等価光幕輝度 (L_{eq}) を加算して ($L_b + L_{eq}$) を求める。
- (4) 背景輝度 (L_b) と等価光幕輝度 (L_{eq}) の和に対する輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) を求める。これが求めるその点の輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) である。

7.4 輝度差弁別閾の分布

これらのプロセスを繰り返して、視野内の必要な領域内の多くの点での輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) を求め、その結果から、一様でない視野での輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の分布曲線を作成することができる。

7.5 他のファクタ

説明を簡単にするために、以下の論では、グレアによる等価光幕輝度については触れない。

8. 種々の道路照明における可視度の比較

8.1 対象とした道路と照明器具の基本的配置

種々の道路照明に対する可視度を次の道路照明について検討した。

(1) 道路

アスファルト・コンクリートで舗装された幅員 7m の道路を例として選んだ。

(2) 照明器具の基本的配置

道路に沿って、照明器具は道路の端に沿い、路面から 10m の位置に取り付け、道路の中心線上で測定した間隔を 35m とした。

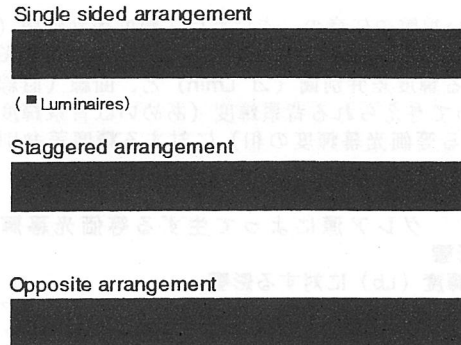


図6 比較の対象とした照明器具の代表的配置

(3) 照明器具の配列

図6は、道路の平面図で、一般の場合の典型的な照明器具の配列を示す。図の四角いマークは照明器具を示す。ただし、図の Singlesided arrangementは片側配列、Staggered arrangementsは千鳥配列、Opposite arrangementは両側配列である。

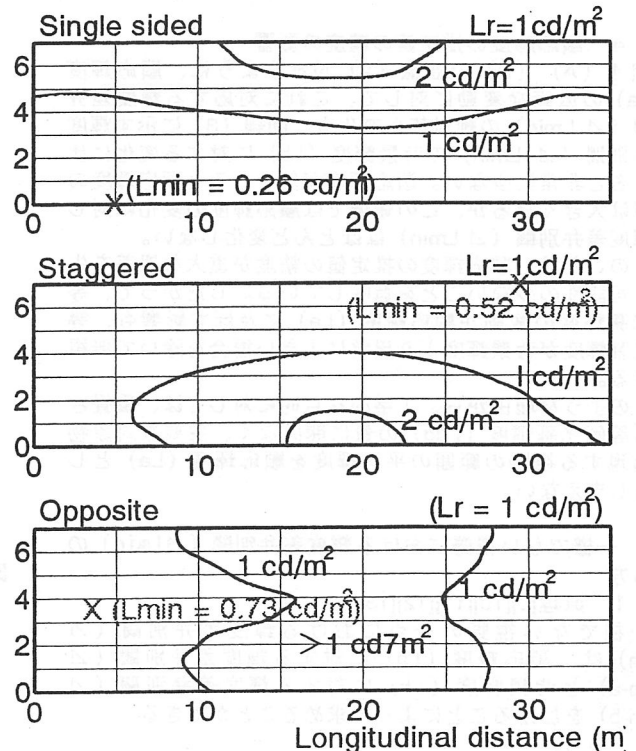


図7 路面の輝度分布の例

(4) 平均路面輝度 (L_r) の値

特に述べない限り、検討の対象とした道路照明の平均路

面輝度の値は 1 cd/m^2 である。

8.2 路面輝度の分布

道路照明の計算に広く用いられている方法によって、道路照明のもとでの路面上の逐点的な輝度を多数求めた。計算結果に基づいて、路面輝度の分布曲線を作成した。図7は、3種類の照明器具の配列に対する路面輝度の分布の例を示す。図のX印は総合均斉度 (U_o) の計算基礎となる路面上の最小輝度の点を示す。3種類の照明器具の配列(上から片側配列、千鳥配列、両側配列)に対する総合均斉度 (U_o) は、

片側配列：	$U_o = 0.26$
千鳥配列：	$U_o = 0.52$
両側配列：	$U_o = 0.73$

であった。以下の検討では、個々の配列に対する総合均斉度は変化させなかった。

8.3 異なった照明器具の配列に対する輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の分布

運転者の見る前方路面の投資図形の中での対象物と背景の路面の幾何学的関係を考慮し、各点における背景輝度 (L_b) を検討した。

順応輝度 (L_a) を平均路面輝度 (L_r) で代表し、逐点的な輝度の値を背景として7.3、7.2で述べた方法を用い、路面上の多数の点における輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の分布曲線を作成した。

図8は、作成した三種の照明器具の配列に対する輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の分布を示す。図に示されるように、平均路面輝度 (L_r) は同じ 1 cd/m^2 であるにも拘わらず、照明器具の配列によって輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の分布はかなり異なっている。

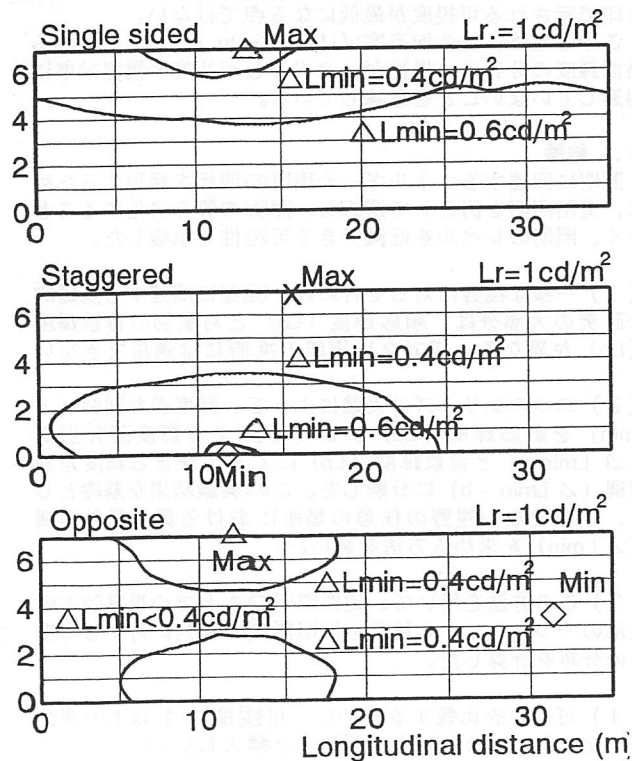


図8 三種の照明器具配列に対する輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の分布

図の△印は、路面上、輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) が最大になる点、X印は路面輝度が最低になる点を示す。X点と△印の位置が全く異なっている点に注意する必要がある。

8.4 可視度 (Visibility Level)

(1) 可視度を決定する要因

この論のはじめに述べたように、可視度は輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) と対象物の輝度 (L_o) と背景輝度 (L_b) の差 ($\Delta L = L_b - L_o$ の絶対値) によって決まる。

(2) 輝度差 (ΔL)

対象物が視認される背景の輝度 (L_b) より高くなるにつれ、あるいは低くなるにつれ、背景と対象物との輝度差 (ΔL) は増加する。よく知られているように、道路照明では、大抵の対象物の輝度が、背景の路面輝度 (L_b) より低く、対象物が暗くなるほど可視度は増加する[11][2][13]。

(3) 対象物の輝度

対象物の反射率 (ρ) あるいは対象物の見える面の鉛直面照度が低くなるほど対象物の輝度は低くなり見易くなる。

(4) 対象物の反射率

道路照明に関して、対象物が背景より暗い場合に、走行の安全性を維持するために必要な反射率を代表するものとして20%を選択した。対象物の反射率 (ρ) の選択に関する詳細は、関連する論文に述べられている。しかし、時間の制約のために、ここではこれ以上、対象物の反射率に関する詳細には触れない。

(5) 鉛直面照度 (E_v)

鉛直面照度の分布は、照明器具の配光、取り付け高さ、取り付け間隔および照明器具の配列によって変化する。このため、対象物の視認性は、照明器具の空間的な配置によって影響される。

路面上、規則的に分布された多くの点に配置された対象物 ($20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$) の可視面における鉛直面照度を種々の照明器具配列に対して計算し、拡散反射率を20%として、次式によって対象物の輝度を計算した。

$$L_o = \rho (\%) \times E_v (lx) / (100 \times \pi)$$

8.5 背景輝度と対象物輝度の輝度差 (ΔL)

計算結果を用いて路面上の多くの点について、対象物輝度 (L_o) と路面の、対象物の背景となる部分の輝度 (L_b) の差を計算した。この計算結果を基礎として輝度差 (ΔL) の分布を得た。

8.6 異なった道路照明における可視度 (VL) の分布

(1) 平均路面輝度 (L_r) の等しい異なった照明器具配置の道路照明における可視度 (VL) の分布

先に求めた、輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) と輝度差 (ΔL) を用いて路面上の多くの点での可視度 (VL)

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

を計算した。例として平均路面輝度 (L_r) が 1 cd/m^2 の場合の3種類の照明器具の配列に対する可視度 (VL) の分布を図9に示した。X印は、路面輝度が最低になる点を示す。

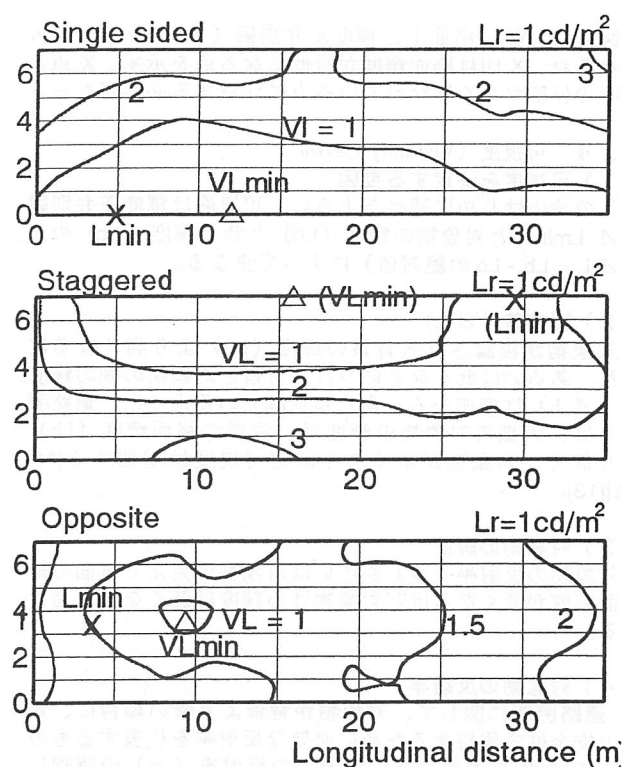


図9 可視度の分布例 ($L_r = 1 \text{ cd/m}^2$)

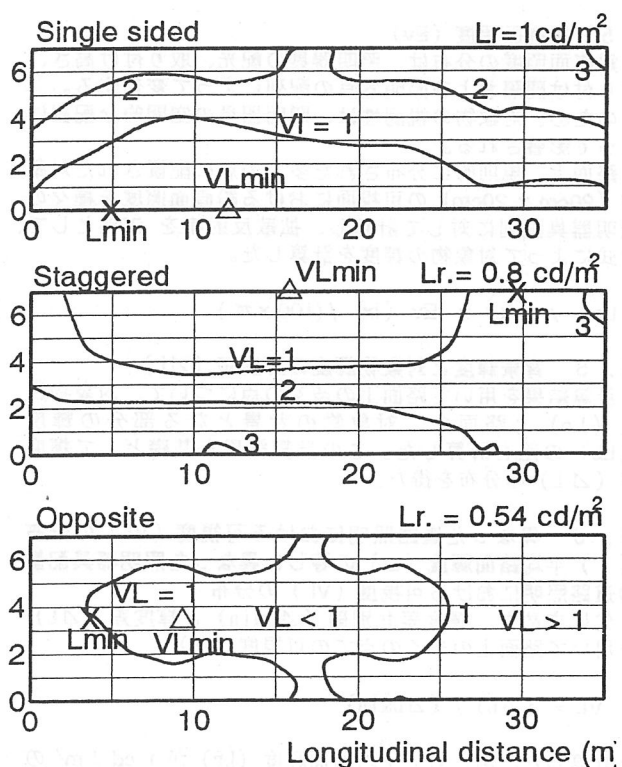


図10 面積率70%を維持するための平均路面輝度と照明器具の配列

予期されるように、平均路面輝度 (L_r) は等しいにも拘わらず、照明器具の配列によって可視度の分布はかなり異

なっている。

図に示されるように、可視度が最低になる Δ 印の位置は、 X 印で示す路面輝度 (L_r) が最低になる位置とはかなり異なっている。

(2) 面積率

可視度の分布を簡単に比較するために、面積率を導入した。面積率は、全路面のうち、可視度が1より大きい部分の占める面積の割合 (%) である。

(3) 等しい面積率を維持するための平均路面輝度 (L_r) の比較

図10は、3種類の照明器具の配列に対して、面積率70%を維持するために必要な平均路面輝度 (L_r) を比較したものである。

8.7 比較の結果

(1) 平均路面輝度 (L_r) が面積率に及ぼす影響

図10に示す例のように、面積率70%を維持するために片側配列では約 1.25 cd/m^2 、千鳥配列では 0.8 cd/m^2 、両側配列では 0.54 cd/m^2 の平均路面輝度 (L_r) で十分である。

比較の結果は、平均路面輝度 (L_r) は、視覚効率や可視度を決定する唯一の要因ではないことを示している。照明器具の適切な配列 (あるいは鉛直面照度の適切な分布) と路面輝度の分布を組み合わせることによって、より低い平均路面輝度でも面積率は維持できる。

(2) 総合均斉度 (U_o) が面積率に及ぼす影響

8.2で述べたように、3種類の照明器具の配列に対して総合均斉度 (U_o) は異なっている。総合均斉度 (U_o) が低くなるにつれて面積率も低くなる。しかし、図9、図10の X 印で示される路面輝度が最も低い点は、 Δ 印で示される可視度が最低になる点ではない。

このことは、総合均斉度 ($U_o = L_{min} / L_r$) で示される路面輝度の分布の一樣性が、必ずしも可視度や視覚効率に関連していないことを意味している。

9. 結論

照明に関連するエネルギーや環境の問題を緩和するために、道路照明を例として選択し、照明の質を劣化することなく、照明のレベルを低減できる可能性を示唆した。

(1) 一樣な視野に対して行われた視認に関連する基礎的な研究の大部分は、順応輝度 (L_a) と対象物の背景輝度 (L_b) が異なる様でない実際の視野には適用できない。

(2) 二つのシリーズの実験によって、輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) を順応輝度 (L_a) によって決まる輝度差弁別閾 (ΔL_{min-a}) と背景輝度 (L_b) によって決まる輝度差弁別閾 (ΔL_{min-b}) に分離した。この実験結果を基礎として、一樣でない視野の任意の場所における輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) を求める方法を導いた。

(3) この方法を用いて、道路照明のもとの視覚効率の表示の一つとして、3種類の照明器具の配列に対する可視度の分布を計算した。

(4) 可視度を比較するために、可視度が1以上の部分が路面の中で占める割合、面積率を導入した。

(5) 面積率70%の維持するために必要な平均路面輝度 (L_r) は、照明器具の配列によって異なることを明らかにした。このことは、照明器具を適切に配列することにより、

面積率を維持する平均路面輝度 (L_r) を低くできる可能性のあることを意味する。

(6) このことは、平均路面輝度 (L_r) は照明の視感効率を左右する唯一の要因ではないことを意味し、照明器具の空間的な配置や照明器具の配光によって決まる路面の輝度分布や鉛直面照度 (E_v) の分布、路面の反射特性などもかなり影響することを意味する。

(7) 可視度の分布を比較することによって、照明レベル (平均路面輝度)、路面の輝度分布、鉛直面照度の分布、視機能低下グレアでの互換性が確立された。

(8) 総合均斉度 (U_o) で示される路面輝度の分布の一意性は、必ずしも可視度や視覚効率に対応していないことが明らかにされた。

文 献

- [1] T. KANO, Y. HIROTA, *Lighting Handbook*, ed.: S. Yamaguchi, Illuminating Engineering Institute of Japan, Ohm-sha, Tokyo, Japan, 1987
- [2] International Astronomical Union / Commission Internationale, de l'Eclairage, *Guide lines of Sites for astronomical observatories*, AIU/CIE 1-1984
- [3] Commission Internationale de l'Eclairage, *Guidelines for Minimizing Sky Glow*, CIE 126-1997
- [4] Environment Agency of Japan, *Guidelines for reducing light pollution*, 1998
- [5] E. MILLS, N. BORG, *Rethinking Light Levels*, *IAEEL Newsletter*, 7, 4-7, 1998
- [6] For example, Commission Internationale de l'Eclairage, *Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic*, CIE 115-1995
- [7] Commission Internationale de l'Eclairage, *An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance*, CIE 19/2.1-1981
- [8] H. R. BLACKWELL, *Contrast thresholds of human eye*, *J. Opt. Soc. Amer.* 42, 624-643, 1946,
- [9] NARISADA, K., YOSHIMURA, Y. *Adaptation luminance of the driver's eyes at the entrance of tunnel, an objective method*, *Proceedings of CIE International Symposium on Measure of Road Lighting Effectiveness, Karlsruhe*, 56, 1977

10. 謝辞

この論文の元は、1999年6月22日から30日の間、ワルシャワのワルシャワ工科大学で開催された国際照明委員会の大会での招待講演 (Balance between Energy, Environment and Visual Performance) として6月26日に著者によって講演され、大会の議事録に収録出版された[15]。

この論文は、その後、ロシア照明の依頼を受けて加筆されたもので、学会誌「」にロシア語で出版され[16]、抜粋が同学会の *Light and Engineering* 誌に掲載されアメリカで出版された[17]。

この論文は、路面輝度の計算、データの整理、道路照明の特性に関連する図を作成された大阪、門真市の松下電工の唐沢宣典氏の援助なしには作成できなかった。同氏に深く感謝する。

- [10] Commission Internationale de l'Eclairage, *Tunnel Entrance Lighting --- A survey of fundamentals for determining the luminance in the threshold zone*, CIE 61-1984
- [11] NARISADA, K. *Perception in complex field under road lighting conditions*, *Lighting. Res. Technol.* 23, 123-131 1995
- [12] NARISADA, T. SAITO, Y. KARASAWA, *Perception and road lighting design*, *Proceedings of SANCI International Conference at Durban*, 83-86, 1997
- [13] Roper, V. J. Howard, E. A. *Seeing with motorcar headlamps*, *Trans. Am. Illum. Engng. Soc.* 33, 417 1938
- [14] Holladay, L. L. *The fundamentals of glare and visibility*, *J. Opt. Soc. Am.* 12, (4) S. 271-319, 1926
- [15] NARISADA, K. *Balance between Energy, Environment and Visual Performance*, *Proceedings of the 24th Session of the CIE at Warsaw, Poland, Vol. 1-Part 1, 17-22*, Commission Internationale de l'Eclairage, 133-1999
- [16] NARISADA, K. *A method to Balance Energy, Environment and Visual Performance*, *Svetotekhnika*, No. 1, 4-10, 2000, (in Russian)
- [17] NARISADA, K. *A method to Balance Energy, Environment and Visual Performance*, *Light & Engineering*, 13-22, 2000 (in English)

高速道路照明の視認性に関する調査・研究（抜粋） （注）

中京大学心理学部
心理学科 成定康平

第8章 道路照明の所要条件

8.2.2. 新しい所要条件の検討[6][7]

現在の勧告の問題点を解決するために、輝度差弁別閾を求める新しい技術を用いて、道路照明の設計と道路照明施設の視認性との関係を検討した。

対象とした道路は、幅員 7m で通常のアスファルト・コンクリートで舗装されている。照明器具 (KSC-4) の取付高さは 10m、道路の長さ方向の取付間隔は 35m、オーバハングは 0m で配置されている。

(1) 比較の対象とした配列

今回の比較の対象とした照明器具の配列は

片側配列 (Single sided arrangement)

千鳥配列 (Staggered arrangement)

向心配列 (Opposite arrangement)

であった。

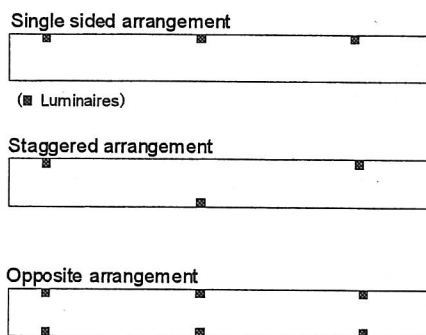


図1 比較の対象とした道路と照明器具の基本的配置

図1に照明器具配列の平面図に示す。図の小さい黒色方形が照明器具である。

以下の各図での路面輝度の測定、対象物の観測は向かって左側から右に向いて行っている。

(2) 輝度分布の比較 ($L_r = 1 \text{ cd/m}^2$)

3つの配列に対して標準的な計算方法により輝度分布を計算した[12]。図2に計算した路面上の等輝度分布曲線を示す[6][7]。

(架空の) ランプの光束を調節して、3つの配列に対する平均路面輝度 (L_r) を何れも 1 cd/m^2 に揃えた。図にはそれぞれの最低輝度 (L_{min}) の値を示しているのので、総合均斉度は、 L_{min} / L_r から簡単に計算できる。

これによれば

片側配列は 0.26

千鳥配列は 0.52

向心配列は 0.73

である。

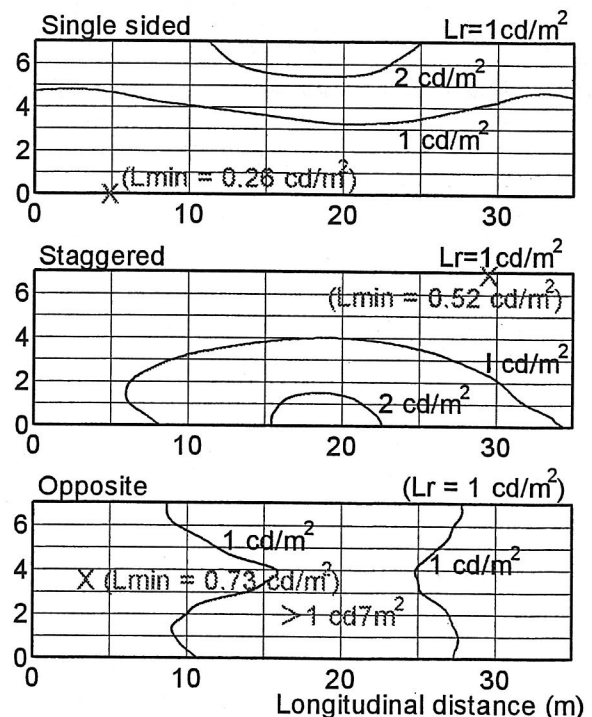


図2 路面の輝度分布の例 ($L_r = 1 \text{ cd/m}^2$)

CIE の道路照明に対する勧告では、総合均斉

(注) 平成 13 年 3 月 (財) 高速道路調査会に提出した同じタイトルの研究報告書 (全 117 頁) の抜粋である。

度を 0.4 以上としているので、片側配列以外の配列は、現行の国際勧告に適合している[1]。

自動車の運転者から見た路面はつや消しの鏡面のような反射特性を示すので、路面の向かって左から観測している運転者の見る路面の輝度は、照明器具の前後で対称的な分布ではなく、非対称な分布を示している。

これらは何れも、計算の対象となった路面、照明器具に関する一例であって、一般的な照明器具などの代表値ではない。

(3) 輝度差弁別閾の比較 ($L_r = 1 \text{ cd/m}^2$)

3つの照明器具配列に対して、運転者の網膜の順応輝度を 1 cd/m^2 とし、第6章で説明した「厳密な求め方」によって、路面上の各点に配列した対象物の背景輝度に対して輝度差弁別閾の分布を求め図3に示す(照明器具のグレアは考慮せず)[6][7]。

図3には、それぞれの配列に対して輝度差弁別閾が最低になる点 (Min) と最大になる点 (Max) を示している。

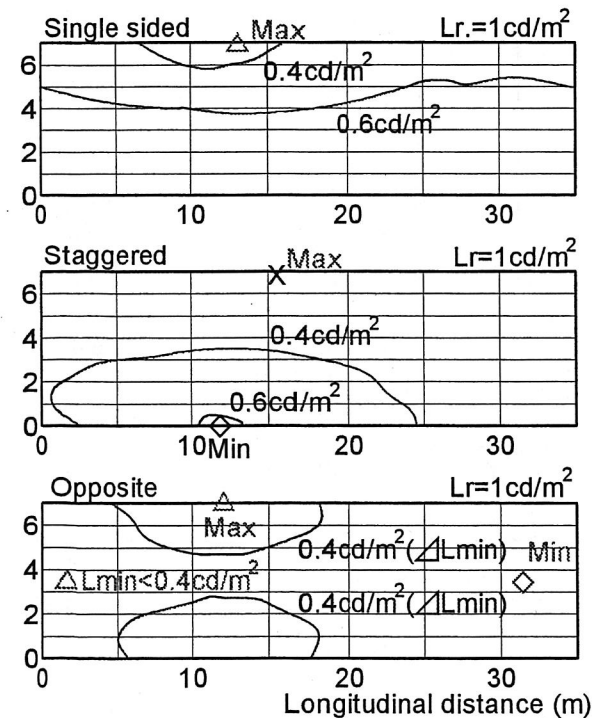


図3 三種の照明器具配列に対する輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の分布 ($L_r = 1 \text{ cd/m}^2$)

この図の輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) の最低の場所と図2の路面輝度 (L_{min}) 最低の場所とはかなり異なっている点に注意すべきである。

(4) 可視度の分布 ($L_r = 1 \text{ cd/m}^2$)

標準的な計算方法で、比較の対象となった道路照明で照明された対象物の表面の照度を計算し、反射率 20%の対象物が路面上の多くの点に存在する場合の対象物の輝度分布を求めた。

この結果から、対象物輝度 (L_o) とその背景輝度 (L_b) の差 (ΔL) を求め、路面上の同じ点の輝度差弁別閾 (ΔL_{min}) から可視度 ($\Delta L / \Delta L_{min}$) の分布を求めた。得られた可視度の分布を図4に示す[6][7]。

図に示す可視度分布曲線の可視度 = 1 の線が反射率 20%の対象物が辛うじて識別できる点の分布である。図には示していないが可視度が 1 以下の点は決して”対象物が見えない点”ではない。反射率が 20%以下の対象物は視認できる可能性がある。

図に示されるように、3つの照明器具の配列に対して、平均路面輝度が等しいにも拘わらず、可視度の分布は全く異なっている。このことは、平均路面輝度が等しくても可視度が異なる可能性のあることを示し、従来、道路照明の最も重要な要件であった平均路面輝度が、単独では必ずしも視認の決定的な条件ではないことを示している。

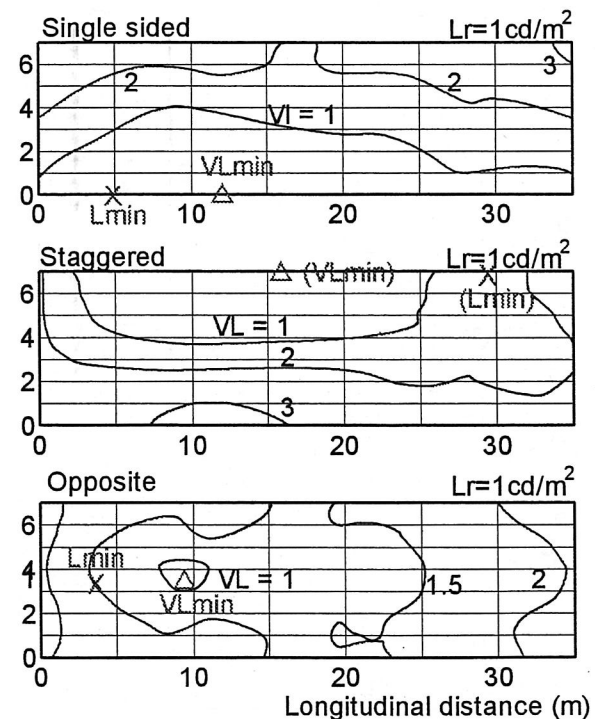


図4 三種の照明器具配列に対する可視度の分布 ($L_r = 1 \text{ cd/m}^2$)

更に、可視度の最低点 (VL_{min}) は、図3および図4に示した路面輝度最低 (L_{min}) の点と、可視度最低 (VL_{min}) の点の場所は一貫してい

ない。

このことは、路面輝度の最低点が可視度の最低点ではないことを示しており、従来、路面上、最も視認性が低いのは輝度が最低の点であるとの仮定（従来、確認する方法がなかった）を基礎に、路面上の最低輝度（ L_{min} ）と平均路面輝度（ L_r ）の比（ L_{min} / L_r ）として定義されてきた総合輝度均斉度（ U_o ）が道路照明施設の可視度に対して厳密な意味を持たないことを示している[6][7]。

(5) 道路照明施設の視認性（可視度面積率）

したがって、現行の勧告の規定している平均路面輝度あるいは総合均斉度の規定に適合していない道路照明でも優れた可視度分布をもつ道路照明があり得るし、適合していても可視度の貧弱な劣悪な照明もあり得る。ここに、照明の視認性を詳細に検討することの重要性がある。

図に示す可視度の分布は非常に複雑である。第6章に述べたように、可視度の値は視認性に対して直線性がないので、可視度の平均値では道路照明の視認性を代表することはできない。したがってこれらの道路照明全体としての可視度の良否を一つの数値で代表できるような路面上の「点」が存在しないことは明らかである。

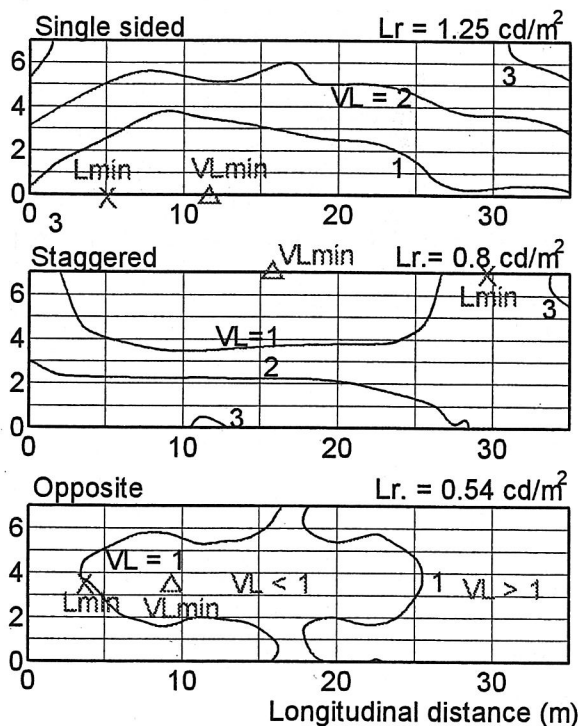


図5 各種配列に対して面積率 70%を維持するための平均路面輝度と可視度の分布

このことは、道路照明施設の完成後、視標を路面上に配置して視認性を観測しても、その道路照明施設の視認性を判断することはできないことをも意味している。

ここでは、照明施設の視認性を表す指標のひとつとして、仮に可視度（ V_L ）が1以上の領域の面積が路面の面積に占める割合（面積率と仮称）で比較することにした[6][7]。

例として面積率を70%とする場合に必要平均路面輝度の値を比較したものが、図5である[6][7]。勿論、“面積率”は70%に限定する必要はなく、任意の値を決めることができる。

図で明らかのように、同じ面積率70%を得るために、片側配列の場合は 1.25 cd/m^2 の平均路面輝度が必要であるが、千鳥配列なら 0.8 cd/m^2 、向合配列なら僅か 0.54 cd/m^2 の平均路面輝度で得られる。これらの平均路面輝度は、片側配列の 1.25 cd/m^2 に対して、千鳥配列が64%、向合配列43%である。

ここでも、現在の要件のひとつ平均路面輝度が単独では照明施設の視認性に対して大きい意味を持たないことが示されている。

この原因は、

(a) シルエット視で対象物を視認する道路照明の場合は、対象物の（観測者から見える）表面の反射率あるいは鉛直面照度が低くなるほど、背景との輝度差が大きくなって視認が容易になる。

(b) 照明器具の取付高さが低くなるほど鉛直面照度の分布が一様性を失い、局部的に鉛直面照度の高い部分が生じて、その附近の可視度を低下させる。

(c) 路面の単位面積当たりの照明器具の数が少なくなるほど、照明器具1個当たりのランプ光束が多くなってその近辺の鉛直面照度が高くなり可視度を低下させる。

などである。

道路照明のもとでは、鉛直面照度ができるだけ一様で低いほど優れた可視度が得られる。この条件が適切に維持される限り、路面輝度が高いほど可視度は向上する。

(6) 道路照明の視認率と視認率面積率

第6章で述べたように、「可視度」はある一点に存在する反射率の与えられた対象物の視認性を示すが、対象物がシルエット視で見えているのか逆シルエット視で見えているのか、あるいは反射率が幾らか、などが明確でない限り、道路照明の視認性を表現することはできない。

図4は、反射率20%の対象物がシルエット視

で見える場合の可視度の分布を示しているので、反射率 20%の対象物に関する限り、比較の対象となった道路照明の視認性を判断することができる。

しかし、反射率 20%そのものに技術的な意味がなければ、この道路照明が交通安全施設としてどのような視認性を持っているか、を判断することはできない。

一方、図の可視度（シルエット視）が1の点（線）上では反射率 20%の対象物が辛うじて視認でき、反射率 20%以下の対象物はすべて視認できる。したがってこの点（線）上では、第3章「3.4.2 道路照明の視認率」述べたように、視認率は 90%である[10][11]（図6参照）。

同様に反射率が 10%の限界対象物の可視度が1の線上では同じく図6によって視認率は約 75%である。

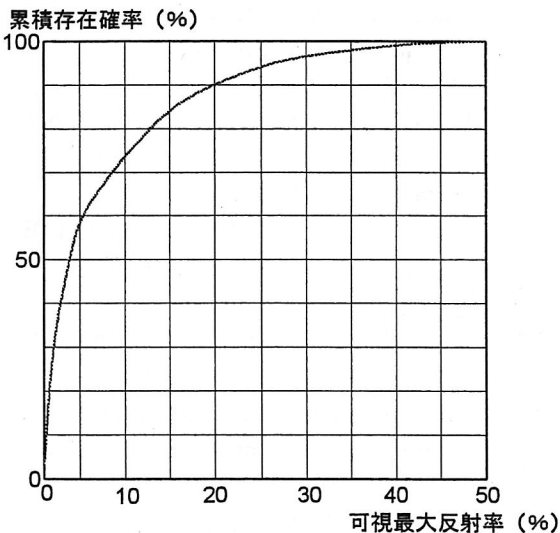


図6 対象物の反射率の累積存在確率（第3章、図17と同じ）

したがって反射率の異なる限界対象物に関する限界対象物の可視度1の曲線群を作成すれば、路面上の視認率の分布を作ることができる。

図7は、図4に示した平均路面輝度 1cd/m^2 の場合に関して3種類の照明器具の配列に対する反射率 20%の限界対象物の可視度1の曲線と、反射率 10%の限界対象物の可視度1の曲線を求めてそれぞれ視認率 90%、75%の分布として示したものである。この照明の場合、向き合わせ配列では視認率が 75%にまで低くなる領域はない。

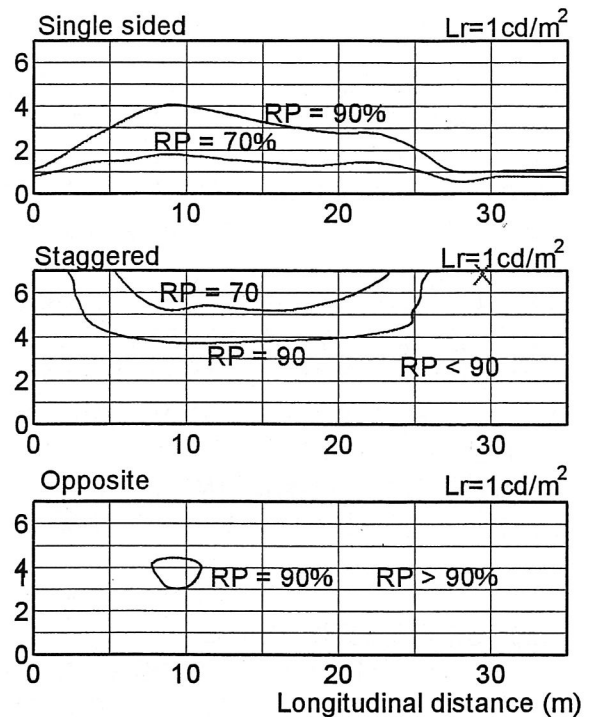


図7 各種配列に対する視認率の分布 ($L_r = 1\text{cd/m}^2$)

同様に、図8は、図5と同様、視認率が 90%の領域の路面面積に占める割合（視認率面積率）が 70%になる場合の視認率の分布と平均路面輝度値の比較である。

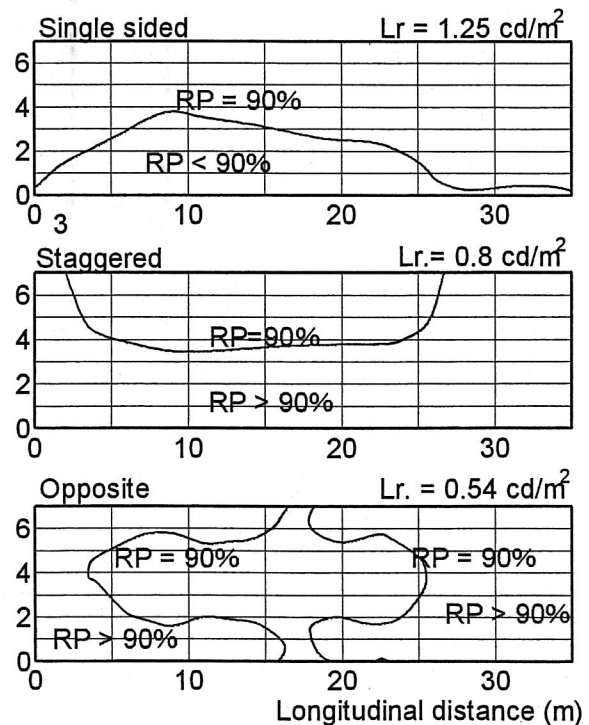


図8 照明器具の配列に対して視認率 90%の領域が路面の 70%を占める場合の視認率 (RP) の分布

図7に示される視認率の分布を見ると、図4に示される可視度の分布と比較して、道路照明の効果がより明確に把握できる。たとえば、可視度が2の場所は”視認性”が2倍になるような印象を受けるが、視認率では大きい差はない。

(7) 視認性に対する視機能低下グレアの影響

すでに述べたように、ここに示した可視度の分布や視認率の計算の基礎となった輝度差弁別閾には、グレアの影響を含んでいないが、第6章で輝度差弁別閾で説明したように、グレア(等価光幕輝度)の影響は簡単に計算に含むことができる。照明器具によるグレアの影響は少ない。

(8) 要件間の補完性と総合性

このように、路面上の各点での輝度差弁別閾を求める技術の開発によって、これらの図には、平均路面輝度、路面の輝度分布(輝度均斉度に置き換え)、照明器具や対向車の前照灯のグレアの影響が総合された視認性が示されており、はじめに述べた「現在の道路照明の勧告の問題点」がもつ要件の個別の規定に伴う補完性の問題が解決できる。

(9) 将来の方向

前述のように、今回比較したのは、幅員7mの種類の路面に関して、種類の照明器具を高さ10m、間隔35mに取付けて、照明器具の配列を変えたときの視認性である。

実際の場合は、視認性(可視度の分布、視認率)は、道路の幅員・路面、照明器具の配光・配列・取付高さ・取付間隔などの影響を受けるから、道路毎に、これらの変化がどのように視認性に影響するか、を組織的に比較し、最適の照明器具とその取付けを選択することによって、視認性を維持する路面輝度を決定する必要がある。

したがって、道路照明の勧告は、従来のように、照明器具の配置・配列に関係なく、平均路面度、総合均斉度、グレア制限などシステムの測光的性能を規定する「製品规格的」なものから、例えば視認率90%の領域の面積率が70%以上、と言うような「性能勧告」に移行する可能性がある。

性能勧告になれば、設計がより自由になるので、必要な視認特性を最も低コストで実現できるような設計を選択することが可能になる。

新しい照明システムとは、珍奇なデザインの照明器具や照明システムではなく、視認性の維持に対して設計の諸元の全く新しい照明である。

文献

- [1] CIE No.115, Recommendations for the lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, (1995)
- [2] Roadway Lighting, ANSI/IESNA RP-8-00, (2000)
- [3] 建設省・道路照明施設設置基準
- [4] J. B. de Boer, Editor, Public Lighting, Cleaver-Hume Press, Ltd. London, UK (1967)
- [5] CIE No.31, Glare and Uniformity in Road Lighting Installations, (1976)
- [6] K. Narisada, Balance between Energy, Environment and Visual Performance, An Invited Paper at the CIE Warsaw Session, Poland, CIE No.133, Proceedings of the 24th Session of the CIE, Vol.1, Part 1, 17-22 (1999)
- [7] K. Narisada, A method to balance between Energy, Environment and Visual Performance, Svetoteknika, 1-2000, 4-10, (2000)
(in Russian) および、Light & Engineering (English version of Svetoteknika), Vol. 8, No.1, 13-22, (2000)
- [8] K. Narisada & Y. Yoshimura, Adaptation Luminance of Driver's eyes at the Entrance of Tunnel — an Objective Measuring Method, Transactions of the 3rd International Symposium on Measures of Road Lighting Effectiveness, Karlsruhe on 5-6 July, 56-73 (1977)
- [9] K. Narisada & Y. Yoshimura, Luminance d'adaptation des yeux d'un conducteur à l'entrée méthode objective de mesure, Lux, No.95, Décembre 348-353 (1977)
- [10] K. Narisada, Perception in complex field under road lighting conditions, Light. Res.& Tech., 21, 4, 171-179, (1989)
- [11] K. Narisada, Perception under road lighting conditions with complex surroundings, Journal of Light & Visual Environment, 25, 5-14, (1995)
- [12] CIE, No.30-2, Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting, (1990)
- [13] 成定、吉川、高速道路照明の所要条件、照明学会誌、Vol.56, No.2, 8-12 (1972)
- [14] 野口(指導)、摂南大学工学部卒業研究報告(1991、1992、1993、1994、1998)

背景輝度の決定方法に対する試案

中村芳樹（東京工業大学）

1. はじめに

紙面に書かれた文字を考える時のように、視対象と背景が同一の平面にあり、さらに均一な明るさを持つ単一の材料でその背景が構成されている場合、対象輝度や背景輝度を特定することはそれほど難しいことではない。ところが、視対象が立体的であったり、あるいは立体的でなくともそれが3次元空間の中に置かれたりした場合、その輝度分布は複雑になり、視対象の輝度や背景の輝度を特定することは難しくなる。

厳密に考えると、紙面に書かれた文字を視対象と考える場合であっても、紙面は背景に無限に広がっているものではないし、時には非常に小さい場合もある。例えば、携帯電話の液晶ディスプレイなどを考えるときなどは、背景を本当にディスプレイの範囲だけで考えて良いのかどうかは疑問に感じるはずである。背景をどの範囲まで考えるべきかという問題は以前からある問題で、考え方の道筋がつかめないために、これまで棚上げにされてきた問題である。

どのような範囲の背景輝度を考えるべきかは、視認性を表現するモデルをどのように考えるかということと深く関係しており、背景を考える範囲の妥当性は視認モデルを抜きには語れない。現状で認知されている「背景輝度が視認性に与える影響を説明するモデル」は、本報告書で述べられているように、対比が視認性に与える影響を光幕の効果で説明するというものである。正直に言うと、筆者は、背景輝度と視対象の対比の効果は光幕だけでは表現できず、側抑制など、視覚系の空間的な周波数特性の効果の方が大きいと考えているが、これについては本稿の主旨からはずれぬため、これ以上の言及は避ける。ただ、ここで述べる背景輝度の決定方法は、背景と視対象の輝度の対比を輝度分布の周波数特性を介して定量的に表現しようとした研究に基づいたものであり、光幕の重畳という視認モデルから論理的に展開されたものではないことを明言しておきたい。光幕の重畳モデルから論理的に展開されたものは、ここで述べるものと全く違ったものになるはずで、減能グレアの評価式に近いものになると思われる。

2. コントラスト・プロファイル

まず図-1に示すような視対象とその背景を考え、その視対象を注視した場合の、中心領域と背景領域を考えてみる。ここで仮に、考えなければならない背景領域の範囲は無限大ではなく、中心領域が小さい場合は狭い範囲を、中心領域が大きい場合は広い範囲を考えれば良いとして、背景領域の範囲は、中心領域の大きさと同じ大きさを左右、上下に取った図-2に示すような大きさであるとしよう。直感的に見た場合、この設定はそれほど

非現実的であるとは思えないので、ここではとりあえずそのような前提で話を進めてみる。

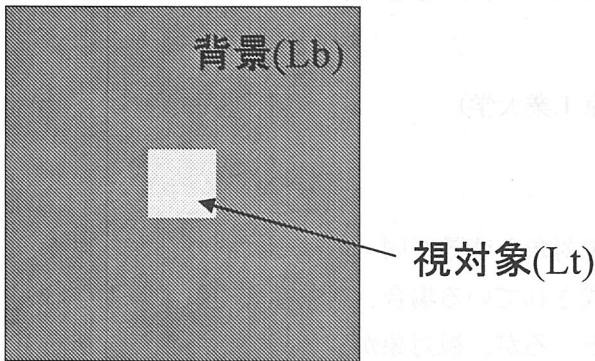


図-1 視対象と背景

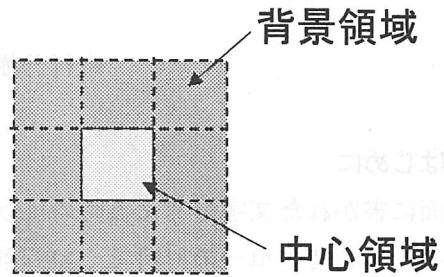


図-2 背景領域の範囲

まず、目を凝らし、視対象の中心、すなわち図-3の①で示すような非常に小さい領域を注視したとする。この時、考えなければならない背景領域は、前段で述べた仮定に則るとすると図の点線で示された範囲になるから、この場合、中心領域と背景領域は共に視対象に含まれ同じ輝度 L_t となり、中心領域と背景領域の間には対比は存在しないことになる。次に、少し目の力を緩めて、視対象全体を見ようとする、中心領域は視対象全体におよび、その結果、考えなければならない背景領域は図-4の②のようになり、背景輝度は L_b となる。今度はさらに、目の力をもっと緩め、ぼんやりと視対象より広い範囲を眺めようすると、中心領域は図-5の③のようになり、背景領域の範囲も図の点線のようにになると考えられるから背景輝度は L_b となるが、中心領域の輝度は、中心領域に輝度 L_t と L_b の双方が含まれることから、 L_t よりも小さい値となる。

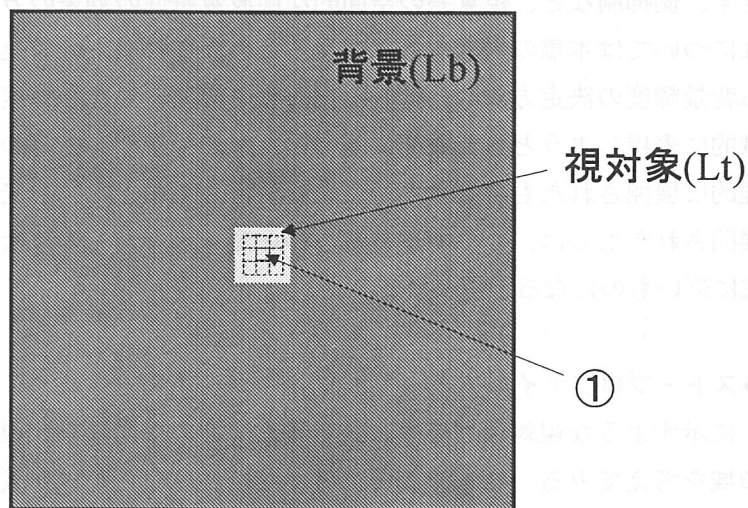


図-3 中心領域と背景領域の範囲の変化(1)

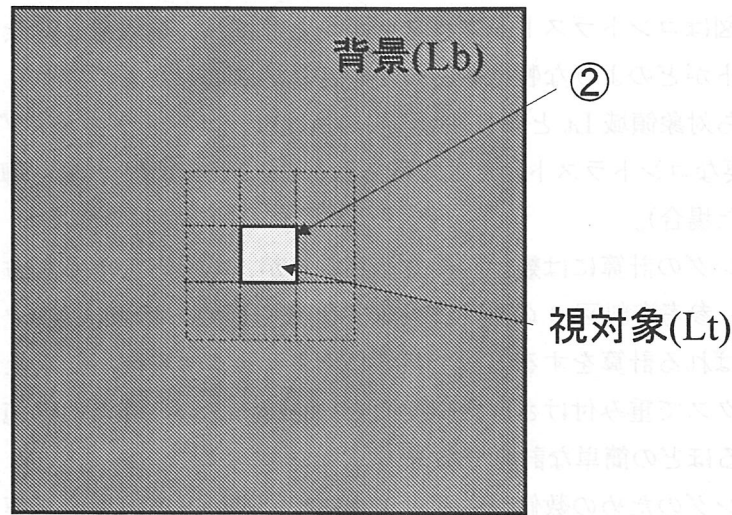


図-4 中心領域と背景領域の範囲の変化(2)

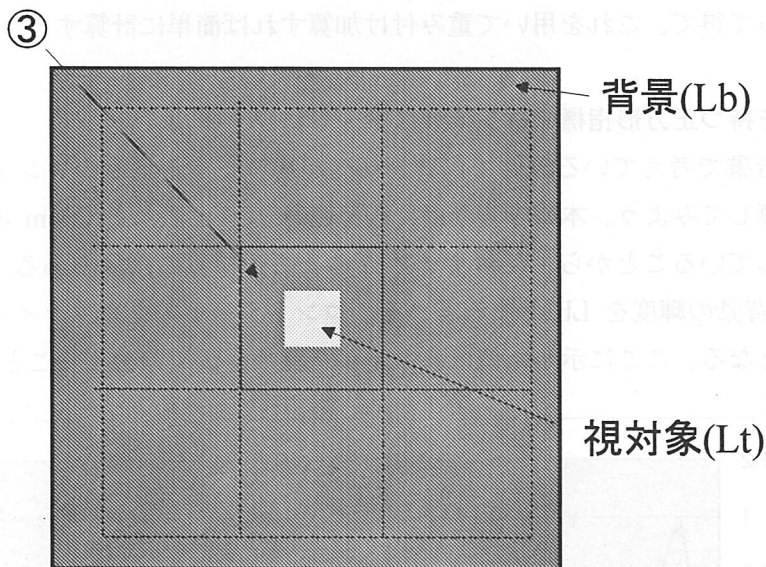


図-5 中心領域と背景領域の範囲の変化(3)

このように考えると、図-1のような視対象とその背景を考えたとしても、そこにはさまざまな大きさの中心領域と周辺領域を考慮することができ、その設定の仕方によって中心輝度や背景輝度は変わり、その結果両者の間の輝度対比は変化することになる。

このような操作を、輝度分布画像を検出波長を変化させてフィルタリングするという演算と関連づけて考察したものが、本稿の後ろに参考資料として紹介した論文である。対比を考慮する中心領域を狭い範囲からどんどん広げていくことは、フィルタリングの際の検出

波長を長くする操作に対応し、そのような操作をすると、参考資料の図-5 にあるような図を得る。この図はコントラスト・プロファイルと呼ばれ、視対象と背景との間で形成されたコントラストがどのような特徴を持つかを定量的に表したものであり、従来の意味での対比、すなわち対象領域 L_t と背景領域 L_b の対比は、コントラスト・プロファイルの極大値 L_t/L_b (主要なコントラスト) として得られることになる (ただし、輝度の対数を取った画像を解析した場合)。

フィルタリングの計算には幾つかの方法があるが、もっとも簡単な方法は、参考資料表-2 のような、参考資料図-2 の (b) のフィルタ関数を近似したマトリックスを使って「たたみ込み」と呼ばれる計算をする方法である。マトリックスを使った「たたみ込み計算」とは、マトリックスで重み付けされた輝度の合計を得るという非常に単純な計算であり、手計算でもできるほどの簡単な計算である。

フィルタリングのための数値マトリックスには、高い計算精度が必要な場合は大きなものが、低い計算精度で十分な場合は参考資料表-2 にあるような小さなものが使われる。輝度分布画像は、たとえどんなに複雑であっても、それは離散化されたデジタルデータであるから、その画像解像度にあわせた数値マトリックスを参考資料図-2 のフィルタ関数を近似する事によって得て、これを用いて重み付け加算すれば簡単に計算することができる。

3. 均一背景を持つ正方形指標のコントラスト・プロファイル

次に、本報告書で考えている条件で、背景輝度が均一である場合のコントラスト・プロファイルを計算してみよう。本報告書では、観察距離 100m にある 20cm の正方形指標を視対象を想定していることから、視角サイズ $7'$ の正方形指標の指標である。ここで視対象の輝度を L_t 、背景の輝度を L_b とすると、そのコントラスト・プロファイルは図-6 に示すようなものとなる。ここに示した値は、フィルタ関数を数値積分することで得ている。

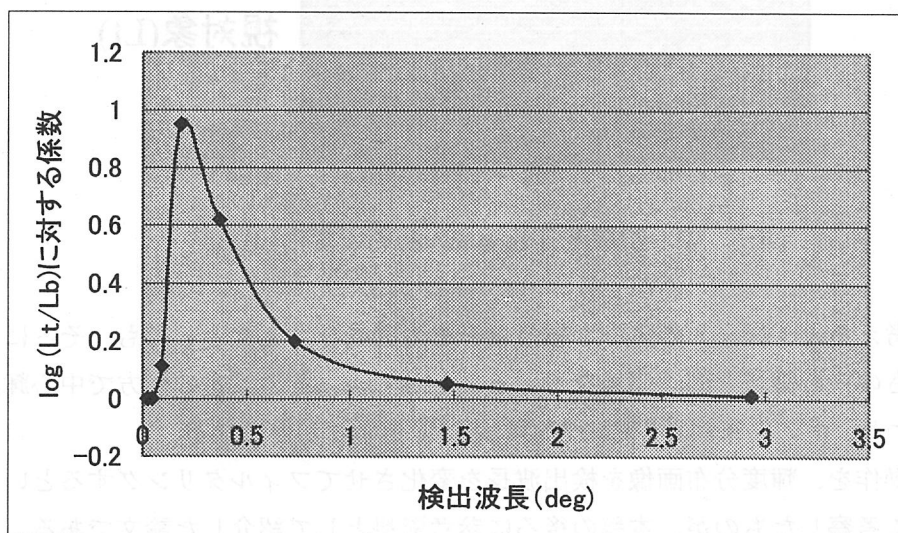


図-6 コントラスト・プロファイル (グラフ)

図の縦軸は対比量 (Log(Lt/Lb)に対する係数) を表し、横軸は検出波長を表す。図より分かるように、検出波長が非常に短い場合対比量はほぼゼロとなるが、検出波長が増すと急激に増加する。そしてその後、正方形指標サイズ 7'に対応する検出波長である 0.18deg 付近で最大値を取った後 (Lt/Lb と正確に一致していないのは、指標が円形ではなく正方形であるため)、ゆっくりと小さくなっていく。

このように、均一背景をもつ正方形指標は、さまざまな広さの、さまざまな強さのコントラストを作り出している。

4. 背景輝度の重み付け加算マトリックス

図-6 で示されている最大値は主要なコントラストと呼ばれ、視対象が円形であった場合、その値は $\log(Lt/Lb)$ と等しくなる。この主要なコントラストが算出される際の、たみ込まれるマトリックス値と、計算される輝度分布の範囲を重ねて示したものが図-7 である。この図は、中央の要素が示す領域の広さが、視対象の視角 7'の大きさに対応するように描かれており、計算の対象とされる輝度分布の範囲がほぼ 35'×35'の領域であることを示している。

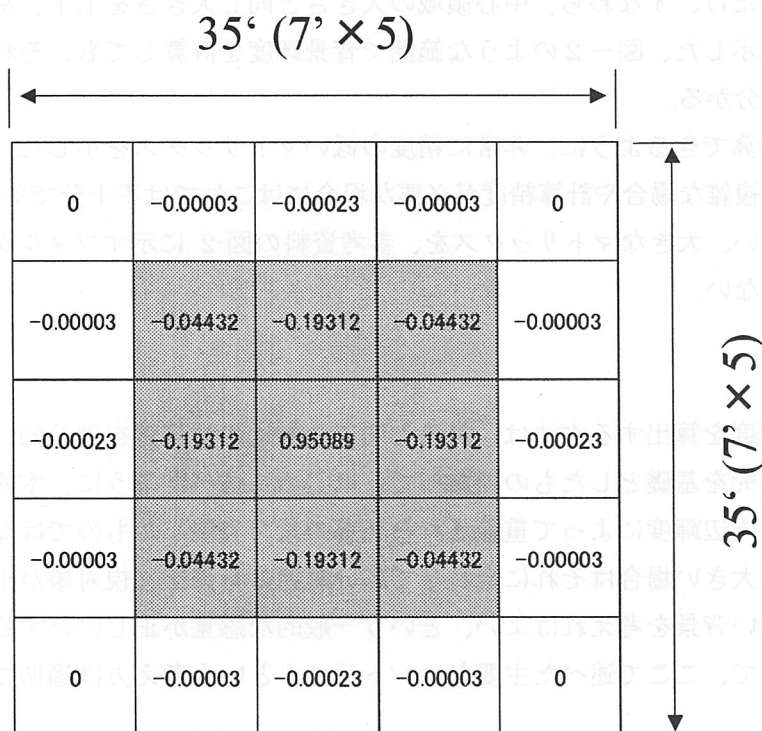


図-7 背景輝度を計算する重み付けマトリックス

尚、視対象にあたるマトリックス中央の要素の値が約 0.95 と 1 になっていないのは、指標が円形でなく正方形であるからであり、中心以外の成分を足し合わせると約 0.95 となる

ことから、マトリックス全体の合計がほぼ 0 となることが分かる。ここで合計が正確にゼロとならないのは、無限大の広がりを持ったフィルタ関数を近似しているからである。

ここで仮に、背景輝度の値が、主要なコントラストを算出する際に得られる背景輝度で表すことができるとすると、背景輝度の値は、図-7 に示す、視対象に当たる中央部分ののぞいた領域の輝度を、対応するマトリックスの係数で重み付けして加算すれば、算出できることになる。この場合の具体的な計算方法は以下のようになる。

- (1)視対象を中心に、視対象と同じ大きさで、左右、上下に二つずつのメッシュを切る。
- (2)そのメッシュ内の平均輝度を求める。
- (3)各メッシュに対応するマトリックスに示された重みを、計算された平均輝度に掛ける。
- (4)得られた結果を合算する。

そしてこの場合、前述のような誤差があるため、この誤差を補正すると

- (5)得られた合計を、重み付けマトリックスの中心領域以外の合計値 (-0.95092) で割る。

以上の方法により、背景輝度の値を計算することができる。

ここで、図-7 に示されたマトリックスの内、中央付近のハッチの部分、中央の要素をのぞいて合計すると-0.94976 となり、前出の合計-0.95092 とそれほど変わらない。これより、このハッチの部分だけ、すなわち、中心領域の大きさと同じ大きさを上下、左右に考えた、本稿のはじめに示した、図-2 のような範囲で背景輝度を計算しても、それほど大きな問題がないことが分かる。

ここでは、簡単に計算できるように、非常に精度の低いマトリックスを示した。もちろん、背景の輝度変化が複雑な場合や計算精度が必要な場合にはこれでは不十分であるから、必要に応じて精度の高い、大きなマトリックスを、参考資料の図-2 に示すフィルタ関数より生成しなければならない。

5. おわりに

ここで述べた背景輝度を算出する方法は、対象と周辺の対比の物理量を理論的、客観的に表現しようとした研究を基礎としたものであって、はじめに述べたように、本報告書の視認モデルをおさえ、周辺輝度によって重畳される光幕の量を表現したものではない。しかしながら、視対象が大きい場合はそれに合わせて広い範囲の背景を、視対象が小さい場合はそれに合わせて狭い背景を考えればよい、という一般的な感覚が正しいとすると、それを表現する方法として、ここで述べた主要なコントラストという考え方は適切であるように思える。

本稿が、視認性のより一層の理解につながることを切望している。

光環境における輝度の対比の定量的検討法

専門会員 中村 芳樹 (東京工業大学)

A Technique for Quantitatively Examining Luminance Contrast in Lighting Environment Fellow Member Yoshiki Nakamura (Tokyo Institute of Technology)

ABSTRACT

Although it is highly desirable to be able to examine the contrast of luminance quantitatively in order to design an appropriate brightness pattern, conventional luminance contrast expressing methods can not be applied to the actual complicated luminance distribution. A previously proposed analysis method for expressing the luminance distribution was used to develop a technique for quantifying the contrast of luminance in an actual complicated luminance distribution. Application of this technique showed that it works well to actual distributions.

KEYWORDS : contrast, luminance contrast, lighting environment, quantitative representation, filtering

1. はじめに

光環境の計画, 特に商業的な空間における照明計画では, 空間内に明暗の変化を意図的に作り出し, 何らかの演出的な要素を含んだ計画を行うことがしばしばである。照明計画の件数だけからいえば, 均一に明るいことを第一の目的とした計画よりも, むしろ明暗の変化を意図的に作り出したものの方が多い。

一方, これまで均一照明を目指してきたオフィスにおいても, 均一な照明がベストであるとは限らないと考えられはじめている。明視を確保するだけの照明から, プラスアルファとしての要素を取り込む必要性が認識され, 適度な不均一さを取り込んだ照明計画も散見されるようになった。状況にあった明暗の変化を意図的に作り出すことは, 従来以上に照明設計のもっとも重要な要素の一つとなりつつある。

明暗の変化を積極的に取り込んだ照明計画では, 多くの場合, 人の視線をそこに誘導したいという対象物があり, それを周辺よりも明るく照明することによって目立たせ, 人の注意を引き寄せる。そのような対象物に与えられる照明は, 周辺に比べて十分明るくしなければならないが, かといって極端に明るすぎると, 空間内の明るさ変化のバランスが崩れてしまう。

あるいは逆に, 周辺よりもやや暗い部分を作り出すことにより, 落ち着き感を醸し出したり, 明るい部分と対比させて明暗を強調したりする場合もある。そのような場合もまた, それらの暗い部分は適度に暗いことが重要なのであって, 暗すぎではせっかくの工夫が台無しになる。

明暗の変化を積極的に取り組んだ照明計画では, このように, 周辺の明るさとの関係を考慮しながら, 明るく照らす部分や暗く残す部分の明るさレベルを微妙に調整することが必要であり, その調整が言わば, 照明デザイナーや照明コンサルタントの腕の見

せ所であると言えるだろう。

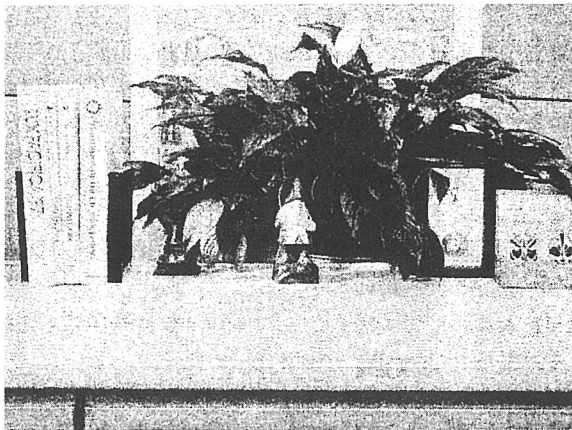
このような明るさの検討は, 対象物の反射率が異なったり, 物体の向きが異なったりすると同じ照明を与えてもその明るさが異なることから, 多くの場合輝度を用いて行われる。そしてその検討を定量的に行おうとすれば, 対象物の輝度と周辺の輝度との比, あるいは対象物輝度と背景輝度との対比を求めることになる。ところがこれらの物理量を求めることは, 対象物やその周辺が複雑な輝度の分布を持っているため難しく, 結局, 定性的な検討のみに止めたり, 極端に単純化した状況を想定した上で定量的な検討を行なうことになる。

このような現状を鑑み, 筆者は複雑な輝度分布を定量的に検討する方法を提案した¹⁾²⁾。しかしそれらの論文では, その方法論を主な論点としたため, 提案した輝度分布の解析法が, 照明計画でどのように応用できるかを具体的に示さなかった。そこで本稿では, 提案した解析法を応用することにより, 新たに, 現実の光環境において輝度の対比を検討する方法を提案する。

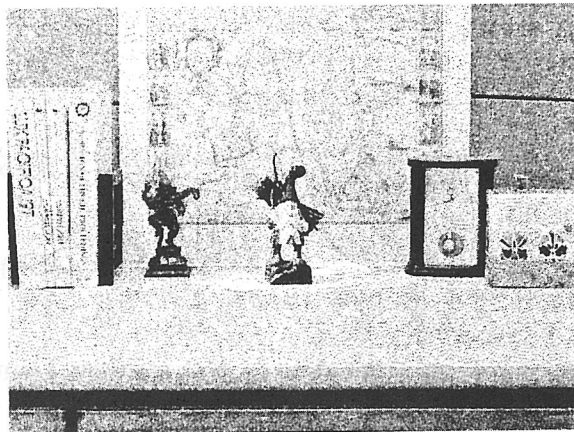
2. 輝度の対比を検討するための要件

まず, 輝度の対比を検討する具体的な事例として, 図1の(a), (b)に示すような, 机上有る木彫りの人形に施されたスポット照明の効果を検討する場合を想定する。(a), (b)とも, 机上には天井に据え付けられた白色蛍光灯によって360 [lx]の水平面照度が与えられ, 左上前方から照明されたスポットライトによって人形の顔面には250 [lx]の鉛直面照度(手前向き)が与えられている。(a)では人形の背景に植栽がおかれているため輝度の対比が大きく, (b)では背景に明度の高いポスターが見えているため輝度の対比が小さくなっている。

輝度の対比は, (1)輝度比(=対象物輝度/周辺輝度), もしくは, (2)輝度対比(=(対象物輝度-背景輝度)/背景輝度)で定量的に



(a)背景に植栽がある場合



(b)背景にポスターが見える場合

図1 輝度の対比を検討する画像
Fig.1 Images for examining contrast of luminance.

示されることが普通である。これらを算出するためには、対象物である人形の輝度と背景や周辺の輝度を得ることが必要となるが、図1の画像から分かるように、対象物である木彫りの人形の表面、背景、周辺にはそれぞれ複雑な輝度分布が生じているため、代表的な点を一つだけ取り上げて検討するというわけにはいかず、一般的には、人形の表面、背景、周辺と思われる領域を設定してその領域内の輝度を平均し、人形の表面輝度、背景輝度、周辺輝度とする。

このようにして求められた平均輝度の値は、設定された領域の範囲によって変化することは言うまでもないが、この領域を客観的に設定することはむずかしい。たとえば図1の人形の輝度を求める場合を考えてみると、人形と背景の輝度の対比は、主に人形の明度の高い顔面部分と背景との対比であると考えられるが、人形と背景という言葉だけから考えると、人形全体の平均輝度を求めた方が良いような印象も受ける。対象物がもう少し大きく、一部に照明が施されているような場合にはもっと判断が難しく、どの部分を対象領域に含めるべきかは主観的に判断せざるを得なくなる。さらに背景領域の判断に至っては、範囲を決める判断基準が全くない。

このような場合の一つの解決方法として、単純に領域内の平均をとるのではなく、重み付け平均をとるという方法も考えられる。通常、対象部分と周辺部分の境界は微妙なものであり、この領域の輝度の値は、輝度の対比に対する寄与は小さいと考えられるから、このような境界の重み付けを小さくすることは理にかなっているし、領域の取り方が少々異なっても求められた対比の量の違いは小さくなる。しかしこのような重み付け平均を考えると、どのような重み付けを採用すべきかという問題が新たに生じることになる。

輝度の対比を定量的に検討する際のもう一つの問題は、輝度分布を測定する解像度の問題である。輝度分布はデジタル画像として測定されることになるが、測定された各ドットの輝度の値は測定装置の解像度に応じて既に平均化された値である。同じ対象物であっても、解像度を高くして測定すると、一般に輝度変化のレンジは大きくなる。

このように考えていくと、輝度比や輝度対比を定量的に検討す

るためには、(1)輝度分布を測定する解像度を設定し、(2)検討する領域の大きさを客観的に決定し、(3)領域内の輝度を代表する値を算出する、という三つの段階に対して、それぞれ適切な方法が示されなければならないことがわかる。

3. フィルタリングと輝度の対比

輝度分布の画像は、さまざまな強さを持ったさまざまな粗さの2次元の輝度変化が合成されたものであると考えることができ、それぞれの輝度変化は2次元の三角関数の形で表すことができる。どのような粗さの輝度変化が、どれだけの強さを持ってその輝度分布を構成しているかを知りたい場合、三角関数として表された輝度変化の振幅を知ればよく、輝度分布画像をフーリエ変換してパワースペクトルをとることにより、それを知ることができる。一方、ある特定の粗さの輝度変化が、どの部分にどれだけの強さで存在するかを知りたいければ、その粗さの輝度変化だけを通過させるフィルタをかければよく、その操作をフィルタリングと呼ぶ³⁾。

筆者は、特定粗さの輝度変化だけを通過させる理想的なフィルタを提案し、それをを用いて複雑な輝度分布を解析する方法を提案した¹⁾。検出しようとする輝度変化の周波数を f_0 [cycle/deg] (すなわち波長を $1/f_0$ [deg]) とすると、筆者らの提案したフィルタ関数は、平面上の位置を x, y 、横方向、縦方向の周波数成分を u, v とすると、

周波数領域では

$$\tilde{N}(u, v) = \frac{(u^2 + v^2)}{f_0^2} \exp\left(1 - \frac{(u^2 + v^2)}{f_0^2}\right) \dots\dots\dots(1)$$

実領域では

$$N(x, y) = \pi^3 f_0^4 \left[\frac{1}{\pi^2 f_0^2} - (x^2 + y^2) \right] \exp[1 - \pi^2 f_0^2 (x^2 + y^2)] \dots(2)$$

と表される。

輝度分布画像をフィルタリングするには二つの計算方法ある。一つは、輝度分布画像をフーリエ変換し、その結果に式(1)を掛け、その後逆フーリエ変換を行うという方法であり、もう一つは、輝度分布画像に対し式(2)を用いてたたみ込みと呼ばれる計算を行う方法である。

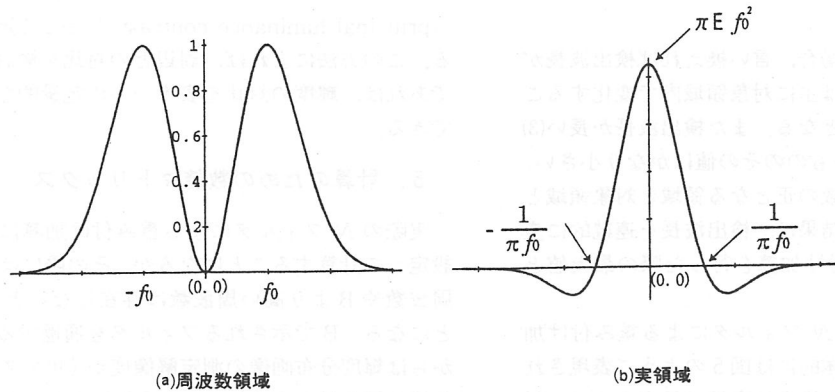


図2 フィルタ関数 N
Fig. 2 Filter function N.

ここで後者の方法でフィルタリング計算を行う場合を考えてみる。

離散的に測定され輝度分布画像 $I(k,l)$ に離散的に表現したフィルタ N をたたみ込む計算は次のように表される。

$$I'(m,n) = \sum_k \sum_l I(k,l) \cdot N(m-k,n-l) \dots\dots\dots(3)$$

フィルタリングの操作では、このような計算を全ての点に対して行うが、ここでこの計算をある特定の点 (m,n) だけに注目したものであると考えると、この計算は、点 (m,n) の周囲の輝度を、フィルタ関数によって重み付けし合計するという操作と同じであることがわかる。筆者が提案した N フィルタは、図 2 (b) に示すように $(0,0)$ を中心とした点対称な分布を持ち、中心部分が正、周辺部分が負となる関数である。したがってこの計算は、点 (m,n) を中心とした領域、すなわちフィルタ関数の値が正である領域の重み付け合計と、周辺領域、すなわちフィルタ関数の値が負である領域の重み付け合計との差を取るという操作と同じである。そして N フィルタは全領域で積分すると 0 となるという性質を持つことから、この点の周囲に輝度変化がなく一定の値をとる場合、その計算結果は 0 となる。

このように、フィルタリングの計算は、輝度分布の画像が輝度の絶対値で表現されている場合、中心領域と周辺領域の輝度の差を求めていることになり、輝度分布画像が対数で表現されている場合は、中心領域と周辺領域の輝度の比を求めていることになり、この両者を合わせて、輝度の対比を算出しているという表現を使うとすると、フィルタリングの計算は、画像上の全ての点に対して、その点を中心とした輝度の対比を算出していることになり、その際の対象領域と周辺領域が、図 2 (b) に示すような関数として定義されていると言うことになる。

このような対象領域と周辺領域の設定がもっとも適切かどうかについては今後検討する必要があるものの、検討する領域の広さを客観的に定める方法としては理論的な背景があることから、 N フィルタによるフィルタリングを応用して輝度の対比を定量化すれば、前章で述べた輝度の対比を定量的に検討する要件の内、(2) と(3)についてはクリアできる可能性がある。

次に、 N フィルタによるフィルタリングを実際に計算しようとすると、 N フィルタ関数が局在してはいるものの無限の広がりを持ち、厳密な解を求めることができないことから、フィルタ関数を何らかの形で近似しなければならない。 N フィルタ関数のようなバンドパスフィルタを近似する場合、周波数毎の重み付けの値

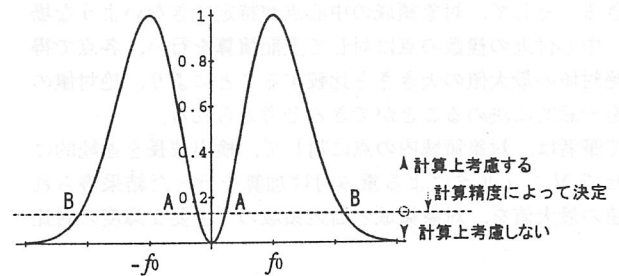


図3 N フィルタと計算精度
Fig. 3 N-filter and calculation precision.

がある値より小さいものを無視するという方法をとることが通例で、具体的には、図 3 の A より低い周波数や B より高い周波数は存在しないとして計算を進める。この B を設定することは、すなわちフィルタを通過するもっとも高い周波数を設定することは、輝度分布画像に含まれていなければならないもっとも高い周波数を設定することにつながり、サンプリング定理より、輝度分布画像を測定すべき解像度が決まることになる。したがって、実際のフィルタリングの計算に当たって計算の精度を設定すれば、前章の要件(1)を満たすことになる。

このように、 N フィルタを用いたフィルタリングを応用すれば、輝度の対比を定量的に検討するための方法を提案できる可能性が高いことがわかる。

4. 輝度の対比の定量的表現法

前章で述べたように、 N フィルタを用いたフィルタリングを応用して、検討したい対象を中心に N フィルタによる重み付け加算を行うという操作を考えれば、周辺との輝度の対比を定量的に検討するための指標が導入できる可能性がある。次にこの方法で定量化される輝度の対比について考察してみる。

N フィルタの重み付けが正となる範囲は、図 2 (b) にあるように、検出周波数を f_0 とすると中心からの距離が $1/(\pi f_0)$ 以下の領域であり、検出周波数が決まれば一定の値となる。ここで、図 4 (a) のような対比を検討したい領域 (対象領域) があり、その領域の中心に点 (m,n) を取り、検出周波数を変化させて N フィルタによる重み付け加算を行った場合を考えてみる。図 4 (b) には、検出周波数が異なった場合の N フィルタによる重み付けの変化を示す。ここでは問題を単純化するために、1次元の変化だけを取り

上げてある。

(1)に示される検出周波数が高い場合、言い換えれば検出波長が短い場合には、フィルタ関数の値は主に対象領域内で変化することから、演算結果は0に近いものとなる。また検出波長が長い(3)の場合も、演算結果は正の値となるもののその値はかなり小さい。これに対して(2)では、フィルタ関数の正となる領域と対象領域とが一致しており、この場合の演算結果は、検出波長を連続的に変化させて N フィルタによる重み付け加算を行った際の最大値となる。

検出波長を連続的に変化させて N フィルタによる重み付け加算を行ったこのような様子は、具体的には図5のように表現される。対象領域が周辺領域より明るい場合は実線で示すように、対象領域が周辺領域より暗い場合には破線のようなグラフとして表される。この変化の様子はもちろん、対象領域や周辺領域の輝度分布によって異なるが、その絶対値の最大値は一意的に決めることができる。そして、対象領域の中心点が特定できないような場合でも、中心付近の複数の点に対して上記演算を行い、各点で得られる絶対値の最大値の大きさを比較することにより、絶対値の最大値を一意的に決めることができると考えられる。

そこで筆者は、対象領域内の点に対して、検出波長を連続的に変化させて N フィルタによる重み付け加算を行った結果得られる絶対値の最大値を、対象領域と周辺領域の「主要な輝度の対比

(principal luminance contrast)」として定義することを提案する。この方法によれば、周辺との対比を検討したい対象が明らかであれば、輝度の対比を表す一つの定量的な指標を与えることができる。

5. 計算のための数値マトリックス

実際の N フィルタによる重み付け加算には、ある計算精度を設定して計算することになるが、その際には、図3のAより低い周波数やBより高い周波数は存在しないとして計算を進めることになる。Bで示されるフィルタを通過するもっとも高い周波数からは輝度分布画像の測定解像度が(サンプリング定理よりBの2倍の周波数となる)、Aに示されるもっとも低い周波数からは重み付け加算の範囲が決められ、Bの周波数とAの周波数の関係は、計算精度に応じて設定される水平線の高さによって一意的に決まることから、具体的な N フィルタによる重み付けマトリックスは一つに決まることになる。そして検出波長を変化させながら計算を進める手順は、まず検出波長を決め、計算精度に対応した解像度で輝度分布画像を測定あるいは生成し、その画像にその計算精度より与えられたマトリックスを用いて重み付け加算を行うというものになり、そのマトリックスは検出波長によらず一種類でよい。

次に計算に必要なマトリックスを検討してみる。

表1の[B]欄には、計算精度を変化させることによって、計算対象とすべき周波数の範囲がどのように変化するかが示されている。そして必要解像度は、考慮すべき最高周波数によって、検出周波数の逆数(すなわち検出波長)に対する係数として[C]欄のように決まり、重み付け加算に必要なマトリックスの大きさは、考慮すべき最低周波数と解像度の関係から[D]欄のように決まる。ここで[C]欄に示された係数を解像度係数 α 、検出波長を L_0 とすると、具体的な必要解像度 (R) は、

$$R = \alpha \cdot L_0 \dots\dots\dots(4)$$

と表わされる。

マトリックスが大きくなると計算負荷が増大することを勘案すると、表1より、解像度係数 α の候補として0.3、0.35などが考えられ、それぞれのマトリックスの大きさは 7×7 、 5×5 となる。

加算するマトリックスは式(2)で示された関数を近似した値となるが、式(2)は積分することができ、下記のようになる。

$$\frac{1}{4} \sqrt{\pi} f_0 (y \cdot \exp(1 - f_0 \pi^2 y^2) \cdot \operatorname{erf}(f_0 \pi x) + x \cdot \exp(1 - f_0 \pi^2 x^2)$$

$$\cdot \operatorname{erf}(f_0 \pi y)) \dots\dots\dots(5)$$

ここで $\operatorname{erf}(z)$ は誤差関数であり、 $\operatorname{erf}(z) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt$ と定義される。

この式(5)を用いて積分範囲を適切に設定することにより、ある解像度で輝度分布が測定された場合のマトリックスの値を求めることができる。

解像度係数 α を0.3および0.35として計算したマトリックスを表2、表3に示す。計算には Mathematica ver. 3を用い、小数点以下第5位で四捨五入した値を示している。

このマトリックスは、計算の簡便性から考えればできるだけ小さい方がよい。しかし表3では、 N フィルタの特徴であるメキシカンハット型の分布が表現されていない。一方表2では、その特徴はある程度保存されおり、解像度係数 α を0.3とすることが適切であると判断される。

表2のマトリックスをもう少し厳密に考えてみると、式(2)を近

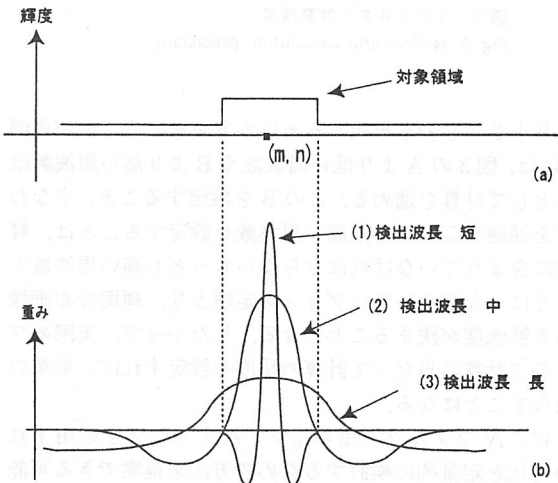


図4 対象部分の大きさと検出波長の大きさの関係
Fig. 4 The relation between the size of a target part and the size of detection wavelength.

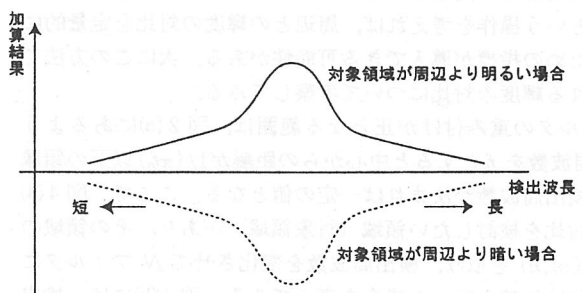


図5 検出波長を変化させた場合の重み付け加算結果の変化
Fig. 5 Shifts of the weighting addition result at the time of changing detection wavelength.

表1 計算精度とマトリックスの大きさ

Table 1 Calculation precision and the size of the matrix.

[A]欄	[B]欄		[C]欄	[D]欄
考慮する最低値	考慮すべき周波数の範囲($\times f_0$)		必要解像度(解像度係数) ($\times L_0$) [deg]	計算に必要な マトリックスの大きさ
	低周波 (cycle/deg)	高周波 (cycle/deg)		
0.01	0.0608	2.7638	0.1809	90.9643
0.05	0.1369	2.3966	0.2086	35.0125
0.1	0.1955	2.2113	0.2261	22.6214
0.2	0.2823	1.9986	0.2502	14.1606
0.3	0.3536	1.8545	0.2696	10.4879
0.4	0.4188	1.7385	0.2876	8.3031
0.5	0.4816	1.6366	0.3055	6.7960
0.6	0.5451	1.5416	0.3243	5.6566
0.7	0.6120	1.4482	0.3453	4.7331
0.8	0.6868	1.3507	0.3702	3.9334
0.9	0.7800	1.2377	0.4040	3.1737

f_0 : 検出周波数

L_0 : 検出波長 (= $1/f_0$)

表2 重み付けマトリックス(解像度係数 $\alpha=0.3$)

Table 2 Weighting matrix(resolution coefficient $\alpha=0.3$).

0.0000	-0.0002	-0.0017	-0.0032	-0.0017	-0.0002	0.0000
-0.0002	-0.0063	-0.0353	-0.0563	-0.0353	-0.0063	-0.0002
-0.0017	-0.0353	-0.0655	0.0625	-0.0655	-0.0353	-0.0017
-0.0032	-0.0563	0.0625	0.5728	0.0625	-0.0563	-0.0032
-0.0017	-0.0353	-0.0655	0.0625	-0.0655	-0.0353	-0.0017
-0.0002	-0.0063	-0.0353	-0.0563	-0.0353	-0.0063	-0.0002
0.0000	-0.0002	-0.0017	-0.0032	-0.0017	-0.0002	0.0000

表3 重み付けマトリックス(解像度係数 $\alpha=0.35$)

Table 3 Weighting matrix(resolution coefficient $\alpha=0.35$).

-0.0016	-0.0194	-0.0402	-0.0194	-0.0016
-0.0194	-0.0953	0.0014	-0.0953	-0.0194
-0.0402	0.0014	0.7019	0.0014	-0.0402
-0.0194	-0.0953	0.0014	-0.0953	-0.0194
-0.0016	-0.0194	-0.0402	-0.0194	-0.0016

似しているための不都合が存在する。式(2)は無限大の範囲を積分をすると0となるが、表2のマトリックスの係数を足し合わせても0とはならず、これは原画像の平均値が出力に影響を与えるということを意味する。そこでマトリックスの合計を0とするための補正を加えるとすると、表2に示された値を合計し、0からの誤差の1/49をそれぞれの値から引けばよいが、その場合、1/49が割り切れないことから厳密に0とすることはできない。そこで本論文では、マトリックス係数の合計が厳密に0となることが必要と考え、表4のような重み付けマトリックスを提案することにした。その導出の手続きは、マトリックスの中央を除く各係数から表2の合計の1/50を引き、中央の係数については合計の2/50を減じた。したがって、厳密には、マトリックス中央の値は表2の誤差の1/50だけ小さいことになる。このようにすれば、誤差はあるものの、

計算対象領域の平均値の影響は全くなくなる。

表4は計算の簡便性を考えた結果であり、より厳密な解析が必要な場合には、より大きなマトリックスを設定し、その係数を式(5)から導出すべきであろう。

6. 輝度の対比の検討例

次に実際の輝度分布画像を対象に、本論文で提案する「主要な輝度の対比」を実際に求め、輝度の対比の大きさを検討してみる。重み付けの計算には提案した表4のマトリックスを用いた。

図1(a), (b)のシーンを、数段階に露出を変えて撮影することにより、輝度分布画像を作成した。作成にはデジタルカメラ(SONY DSC D700)を用い、絞りを5.6で固定、シャッタースピードを1秒、1/8秒、1/60秒、1/500秒の4段階に変化させて撮影し、640×480の画像として取り込んだ。取り込まれた画像のRGB値から輝度への変換は、あらかじめ校正板を用いて作成した重回帰式を用いた。輝度の測定範囲は0.3 [cd/m²] ~ 3390 [cd/m²]、解像度は0.0375 [deg]である。

輝度の対比を検討するためには、検出波長を連続的に変化させてNフィルタによる重み付け加算を行う必要があるが、実際の分析では、ある解像度で予め測定した輝度分布画像を基に、その解像度を幾つかのドットを平均することにより徐々に落としつつ、それぞれの解像度ごとにNフィルタによる重み付け加算を行い、その解像度に対応した検出波長の輝度変化の強さ、すなわち輝度の対比を求めて行けばよい。ここでは0.0375 [deg]の解像度で測定された輝度分布画像を基に計算を進めたが、測定解像度そのままではノイズが含まれている可能性があるため、オリジナルの輝度分布画像の縦、横2ドットずつを平均したもの、すなわち解像度0.075 [deg]の輝度分布画像をもっとも高い解像度として分析し、その後表5に示すように、解像度を順次2倍に変化させて分析を行った。このような手続きで行った分析は、式(4)より、表5に示すような0.25~8 [deg]に検出波長を設定して、輝度の対比を検討したことになる。

ここではまず、輝度の対比の検討点を木彫りの人形の明度が高

表4 修正重み付けマトリックス
Table 4 Corrected weighting matrix.

-0.000024	-0.000224	-0.001724	-0.003224	-0.001724	-0.000224	-0.000024
-0.000224	-0.006324	-0.035324	-0.056324	-0.035324	-0.006324	-0.000224
-0.001724	-0.035024	-0.065524	0.062476	-0.065524	-0.035024	-0.001724
-0.003224	-0.056324	0.062476	0.572752	0.062476	-0.056324	-0.003224
-0.001724	-0.035024	-0.065524	0.062476	-0.065524	-0.035024	-0.001724
-0.000224	-0.006324	-0.035324	-0.056324	-0.035324	-0.006324	-0.000224
-0.000024	-0.000224	-0.001724	-0.003224	-0.001724	-0.000224	-0.000024

表5 平均したドット, 解像度, 検出波長の関係

Table 5 Relation of the averaged dots, resolution, and detection wavelength.

平均したドット数	2×2	4×4	8×8	16×16	32×32	64×64
解像度[deg]	0.075	0.15	0.3	0.6	0.12	0.24
検出波長[deg]	0.25	0.5	1	2	4	8

い顔の部分の中心付近に設定し, 輝度の対比の検討を進めた。

明度の高い木彫りの人形の顔の部分は, 作成した輝度分布画像では30~40ドット程度の大きさとなった。主要な輝度の対比は, 既に述べたように, 重み付けマトリックスの正の領域が対象領域と一致する付近の波長で検出されると考えられるので,

$$(2/\pi) \cdot L_0 = (30 \sim 40) \times 0.0375 \text{ [deg]} \quad (L_0: \text{検出波長})$$

を満たすような検出波長で主要な輝度対比が検出されると考えられる。これより, 検出波長が1.767~2.356 [deg]の付近で主要な輝度対比が検出されることがわかる。

表6に, 輝度の対数で表現された輝度分布画像を使って N フィルタによる重み付け加算を行い, 周辺と対象領域との輝度比を算出した結果を示す。表よりわかるように, 背景に植栽がある(a)の輝度分布では, 予想通り検出波長2 [deg]で明確なピークがあり, 最大値約3.46を取ることがわかる。一方, 背景にポスターがある(b)の場合は全体的に値が低く, 明確なピークを持たないが, 検出波長1 [deg]で最大値約1.35をとっている。

表7には, 輝度分布を輝度の絶対値で表現し, 同様の演算を行った結果を示す。この演算の場合, 周辺輝度と対象輝度の差が抽出されるが, このままでは明るさと直接の対応関係を検討するには不十分である。一般に輝度差を背景輝度で割ったものが輝度対

表6 輝度比の検討結果

Table 6 Study result of luminance ratio.

検出波長[deg]	0.25	0.5	1	2	4	8
(a)背景に植栽がある場合	1.073123	1.082147	1.38119	3.456742	2.294712	0.872108
(b)背景にポスターがある場合	1.111339	1.140651	1.354678	1.322833	0.90337	0.862093

比と定義され, この輝度対比と明視との関連は多くの研究で明らかになっている⁴⁾。しかしながら, 現実の複雑な輝度分布を考えると, これまで述べたように, 背景輝度を客観的に決めることはできない。そこでここでは, 演算を進める際に設定した計算精度によって定義される計算範囲, すなわち計算マトリックスの大きさの範囲における平均輝度を取り, この平均輝度によって, N フィルタによる重み付け加算の結果得られた輝度差を割り, これを輝度対比として表現した。

表よりわかるように, 背景に植栽がある(a)の場合の2 [deg]を検出波長とした輝度対比が顕著に大きく, この輝度対比が対象領域の明るさ感を形作っていると考えることができる。複雑な輝度分布を対象にした場合, 従来のような定義では輝度対比を求めることができないことから, このような方法で輝度対比を検討することは有効であろう。

次に, 対象領域の中心がずれている可能性を考え, 検出波長2 [deg]に対応する必要解像度で生成された輝度画像で, 中心点を上下左右に1ドットずつ変化させて計算した結果が表8に示されている。表中座標(0,0)に当たる部分が設定した中心点で計算した輝度対比である。表より, 設定した中心点はほぼ適当な位置であったことがわかる。

表7 輝度対比の検討結果

Table 7 Study result of luminance contrast.

(a)背景に植栽がある場合

検出波長[deg]	0.25	0.5	1	2	4	8
輝度差[cd/m ²]	1.936453	2.16485	7.285597	19.19894	9.703657	-3.550923
平均輝度[cd/m ²]	34.10969	32.35388	16.92982	8.15912	11.67811	19.08567
輝度対比	0.05677	0.06691	0.43034	2.35306	0.83093	-0.1861

(b)背景にポスターがある場合

検出波長[deg]	0.25	0.5	1	2	4	8
輝度差[cd/m ²]	3.304208	3.502756	6.4545265	6.64641	-3.18361	-4.965729
平均輝度[cd/m ²]	33.87926	31.14469	23.74192	26.95424	31.7726	30.74522
輝度対比	0.09753	0.11247	0.27186	0.24658	-0.1002	-0.1615

表8 中心位置の検討結果(輝度対比)
Table 8 Study result of center position
(luminance contrast).

	-1	0	1
-1	0.453701	1.197919	-0.22084
0	1.092154	2.353065	0.443706
1	0.501293	1.725847	0.253216

以上の計算の結果、木彫りの人形を対象領域として設定した場合の主要な輝度の対比は、

図1(a)の背景に植栽がある場合

輝度比 3.456742

輝度対比 2.35306

(ただし検出波長2 [deg] の時)

図1(b)の背景にポスターがある場合

輝度比 1.354678

輝度対比 0.27186

(ただし検出波長1 [deg] の時)

と定量化できた。

7. まとめ

照明設計の際、明るい部分と暗い部分の関係を適切に設計する事は重要であり、ある対象と周辺との輝度の対比は、その検討のための重要なツールである。しかし現実の複雑な輝度分布を対象にした場合、輝度の対比を定量的に表現することはこれまでできなかった。そこで本論文では、複雑な輝度分布であっても輝度の対比を定量化できる方法として、「検出波長を連続的に変化させてNフィルタによる重み付け加算を行い、その最大値をもって主要な輝度の対比として表現する」という方法を提案した。そしてこの方法を用いて、実際の輝度分布における輝度の対比の定量的な

検討を行い、その有効性を示した。

本稿では、輝度の対比が一つの量として確定できることに重点を置き、上記のような定量的指標を提案した。しかしながら、検出波長の変化につれて対比の量が変化する様子は、輝度の対比の何らかの特性を表しているとも考えられ、今後このような点に焦点を当てた検討も必要であると考えられる。

本研究を進めるに当たって、東芝ライテック㈱の鹿倉智明氏には、輝度分布を測定し重み付け加算を行う際、多くのご協力をいただいた。ここに記して深謝申し上げる。

参考文献

- (1) 中村芳樹, 乾正雄, 沢田敏実: 輝度分布の表現法に関する研究; 日本建築学会計画系論文報告集, [431], pp.17-24 (1992).
- (2) 中村芳樹, 乾正雄: 視環境の輝度分布特性に関する研究; 日本建築学会計画系論文報告集, [438], pp.1-8 (1992).
- (3) たとえば, 辻内順平編著: 応用画像解析, 共立出版(1981).
- (4) たとえば, 伊藤克三, 中根芳一, 岩永克美; 日本建築学会論文報告集号外, p.607 (1967).

(受付日2000年4月11日/採録日2000年6月1日)



中村 芳樹 (専門会員)

東京工業大学大学院総合理工学研究科
〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259

昭和31年11月4日生まれ。昭和61年3月東京工業大学大学院社会開発工学専攻修了。同年東京工業大学助手、平成5同大学助教授。

工学博士。専門は視環境評価、環境心理学。日本建築学会、日本色彩学会、日本感性工学会、MERA 会員。

研究調査委員会報告書の著作権について

本報告書の著作権は（社）照明学会に帰属します。

複写をされる方に

本報告書に掲載された著作物は、政令が指定した図書館で行うコピーサービスや、教育機関で教授者が講義に利用する複写をする場合等、著作権法で認められた例外を除き、著作権者に無断で複写すると違法になります。

