道路照明の変遷[†]

専門会員 成 定 康 平*

1. 初期の道路の照明

広義の意味での道路の照明の歴史は、意外に古く、紀元前数世紀から始まった古代ローマ時代には、すでにながりの規模で街路が照明されていたとされている¹⁾。近世の18世紀の初頭から始まったとされている産業革命とともに各種の近代的な技術が発達し、19世紀の初めにはガス灯が発明され、19世紀の終り頃までには石炭ガス灯が街路の照明に使用された。ガス灯による街路の照明は、現在でもヨーロッパの一部の都市で行なわれている。図1は、この当時の街路の風景を示す絵画の一つである(J. A. Grimshaw 画)。

図1 ガス灯時代のイギリス・リバプールの市街の風景。歩道に沿って小形のガス灯が並んでいるのが見える。
(Internat. Light. Rev. vol. 25 No. 4, p. 131 より転載)

1802年に、イギリスの H. Davy によって発明されたアーク灯が、19世紀の半ばになって蒸気機関による発電が十分な電力の供給を可能としたことと相まって、街路の照明に使用された。これらが近代的な街路あるいは道路の照明の始まりである。19世紀の終り近くに、近代的な技術が相次いで開発され、たとえば、1878年から1879年にかけて、J. W. Swan や T. A. Edison が白熱電球を、1885年には、G. Daimler と K. Benz が自動車を開発、実用化し、道路照明あるいは街路照明の必要性和、可能性の基礎が整った。

2. 光源の変遷を中心とした道路照明の発達

現代的な意味での道路照明は、これを可能とする光源の進歩と不可分の関係にある。したがって、ここではまず、光源の発明、開発、実用化がどのように道路照明の変遷に影響してきたかを概説する。

2.1 白熱電球による道路照明

Edison による白熱電球の実用化によって、道路や街路を一斉に点滅できる白熱電球によって照明することが可能となった。初期の電球の効率、寿命はいずれも、一般的な道路照明に使用するには十分なものではなかったが、今世紀の初頭から1930年代にかけて、白熱電球の改良は急速で、寿命、効率ともに、現在の白熱電球に極めて近いものとなった。しかし、それでも効率や寿命は十分ではなく、道路照明の本格的な普及は、大型で高効率な金属蒸気放電ランプが開発、実用化されるまで待たねばならなかった。

2.2 初期の金属蒸気放電ランプ (HID ランプ) と “第1世代” の道路照明

今世紀に入ってから科学技術の急速な進歩とともに、1930年代の初めには、高効率、大出力の金属蒸気放電ランプ (以下、簡単のため、低圧ナトリウムランプを含めHIDランプと総称する) が相次いで開発、実用化された²⁾。

水銀ランプによる最初の道路照明がいつ、どこで行なわれたかについての確たる記録は得られないが、低圧ナトリウムランプによる最初の道路照明は、1932年7月に、オランダのリンバークの近くの道路に設けられたものであるといわれている³⁾。

1935年、アメリカで蛍光ランプが発明された²⁾。しかし間もなく、第二次世界大戦が勃発し、大部分の国では民需用の生産が停止されたためであろう、実際に蛍光灯が本格的な道路照明に使用された記録は残っていない。したがって、第二次世界大戦前の道路照明には、白熱電球、(透明型の) 水銀ランプ、低圧ナトリウムランプが使用された。

第二次世界大戦によって、当時の先進工業国の都市のほとんどが破壊され、戦前に施設された多くの道路照明も壊滅した。したがって、大戦の終了とともに、多くの都市での道路照明は、戦後型の “第2世代” のものが新しく施設されることになったのである。

2.3 HID ランプによる “第2世代” の道路照明

[†] Historical Development of Road Lighting

* 松下電器産業株式会社 照明研究所 Kohei Narisada

第二次世界大戦後における世界の工業水準では、大型の HID ランプは、限られた先進国でしか製造できなかった。これらの先進国では、これらの国自身の道路照明の再建が緊急課題であったため、HID ランプを外国に輸出する余力はなく、その他の多くの国々は、経済的に疲弊していて、これらを輸入することもできなかった。このため、各国とも自国に残った工場や技術で生産できるランプによって道路照明の再建に着手せざるを得なかった。

たとえば、西ドイツは、水銀ランプに使用する特殊ガラスの工場がなかったため（東ドイツにあった）、蛍光ランプによって、イギリスやベルギー、オランダは、当時生産できた低圧ナトリウムランプと蛍光ランプによって、またアメリカは、水銀ランプと蛍光ランプによって、その他の多くの国は、戦前からの白熱電球によって自国の道路照明

図 2 蛍光ランプによる初期の街路照明。照明器具が街路両側の建物と建物の間に張った線に吊り下げられている。蛍光ランプ以前は、白熱電球の照明器具が吊り下げられていた。

図 3 低圧ナトリウムランプによる初期の道路照明。照明器具が傾斜して取り付けられている。

の再建を開発した。図 2 は、蛍光ランプによる、図 3 は、低圧ナトリウムランプによる“第 2 世代”初期の道路照明の例である。その後各国の工業生産は逐次復活し貿易も盛んになって、どの国でも第二次世界大戦直前に開発された新形の HID ランプや蛍光ランプが使用できるようになった。このうち、最も多く使用されたのは蛍光水銀ランプであった。

この理由は、このランプの効率が高いこと、寿命が長いこと、演色性が道路の照明には十分であったこと、演色性の改善のためにランプの外管に塗布された拡散性の蛍光物質が、このランプの光学特性を精密な光学システムを使用しなくても道路照明に適する配光を得ることができるよう

なものとしたことなどによると考えられる。

しかし周知のように、道路照明や街路照明は、連続性の必要な道路に沿って長い区間が見通せるような構造の施設であるため、都市全体、あるいは、国全体として、ある種の統一が必要であり、新設の施設であっても、その都度、従来の施設と極端にかけ離れた方針で設計することはできない性格をもっている。

このため、第二次世界大戦直後に各国が前述のような事情から、それぞれ別々のランプを使用し始めた事情は、その後、特に道路照明を早く着手した、当時の先進国の道路照明の設計に戦後の長い期間にわたって強い影響を及ぼした。このことが、たとえば、“先進国”の西ドイツが長期にわたって蛍光ランプを道路照明（図 4）に主力的に用い

図 4 蛍光ランプによる道路照明。西ドイツにおける昭和30年代の照明。

ていた原因である。したがって、今日でも各国がその道路照明に、それぞれ独特のランプを使用している背景は、決して単純に技術的なものばかりではない。

2.4 最近の HID ランプと“第 3 世代の道路照明”

1961年、R. H. Reiling が水銀ランプの発光管の中に金属のハロゲン化合物を封入したメタルハライドランプを発明し、演色性が大幅に改善された²⁾。このランプは1964年に市場に導入された。同じ年（1964年）、アメリカの B. London および K. Schmidt が、一般照明用としては最高の効率をもつ高圧ナトリウムランプを開発した²⁾。

当初、これらの新しい HID ランプは、その外管に蛍光物質のような拡散材料を塗布して、蛍光水銀ランプの光学的特性との互換性を維持し、従来の（蛍光水銀ランプ用の）照明器具にそのまま使用できるようにしていた。

これらの HID ランプが、本格的に使用されるようになった契機は、1973年の秋に突発した第 1 次石油危機であった。すなわち、このとき、わが国はもちろん、欧米諸国、東欧諸国では、価格が急騰し入手が困難になった石油の節減のための緊急措置が必要となった。このため、他の照明と併せ、道路照明の消灯、削減を行なった。その後、各国の政府は、道路照明の消灯、削減によって、夜間の交通事故率が急増し、これによる国家的損害は、エネルギーの節減による国家的利益より大幅に大きいことを発見し

た⁴⁾⁵⁾⁶⁾。このようなことから、イギリスをはじめとする欧米諸国では、わずか数か月で道路照明を元の状態に復活した。

これらの事情から、これらの諸国では、エネルギーの節減と道路照明の維持という、相反する社会的、国家的要求を同時に満足させなければならなくなり、その解決を高効率の新型 HID ランプに求めた⁷⁾。

上述のように、当時、高効率の新型 HID ランプとしては、メタルハライドランプと高圧ナトリウムランプの二種類が実用化されていたが、その後、効率の高さ、特性の安定性などの点から高圧ナトリウムランプが主体となっていた。

近年に至って、透明な外管の新型 HID ランプが生産されるようになり、この種のランプ専用の照明器具が開発、使用されるようになってきた。これが本格的な“第3世代”の道路照明である。

3. 照明器具の変遷

図1にも示されているように、ポールに取り付けた照明器具によって、道路面とその周辺をできるだけ一様に明るく照明しようとするというアイデアは古い時代からのものである。近代的な道路照明においても、この考えは踏襲され、道路照明に使用される器具は、大部分、このアイデアを基本として開発された。以下、前述の光源の発達に関連させて、この稿で仮に“第1世代”、“第2世代”などと名づけた道路照明の時代的変遷にはほぼ沿いながら、ポール照明方式を中心に、照明器具の変遷、照明設計の変遷を概観してみる。

3.1 初期の照明器具

近代的な光源が開発されるまでの、ガス灯、アーク灯などによる道路や街路の照明に使用された照明器具は、現在の道路照明の概念からいえば、特別な配光制御はほとんど行なわれなかったといつてよい。道路照明としての配光制御が照明器具の機能として考えられはじめたのは、やはり、白熱電球が実用化されはじめてからのことである。

3.2 “第1世代”の照明器具

近代的な道路照明の最初の考え方は、路面を“一様な明るさ”で照明することを、できるだけ“均一な照度”で照明することであるとし、それが実現されるように照明器具を配置した。この場合、道路をできるだけ少ない照明器具で経済的に照明するためには、それぞれの照明器具に道路の長さに沿って、できるだけ広い範囲の路面を一様な照度で照明するような特性を持たせる必要がある。同時に、自動車の運転者にグレアを生じないようにする必要がある。

幸い、第1世代の道路照明に使用された光源は、白熱電球と、外管が透明な初期の HID ランプであったため、“点光源”に近い特性を持ち、照明器具にこのような厳格な配光を持たせることはそれほど困難なことではなかった。特にガラス加工技術の発達したアメリカでは、このような配光をもつ照明器具が相次いで開発された。

一方、道路が狭く、曲折部や交差点の多いヨーロッパでは、(自動車の正面方向の前方を照射する) 自動車の前照灯の効果が十分発揮できないことが多い。このため、夜間の交通の道路照明に対する依存度は大きく、道路照明についての関心はアメリカより強かった。

1938年イギリスの Dunbar は、実験用の道路照明のもとで自動車の走行実験を行ない、障害物を視認するのに必要な路面輝度のレベルを求めた⁸⁾。この後、同様の研究が他の研究者によっても行なわれた⁹⁾¹⁰⁾。この結果をもとに、(イギリスを含む)ヨーロッパ諸国では自動車の運転に必要な路面の“一様な明るさ”は照度の一様な照明ではなく、輝度の分布の一様な照明であるとし、これを目標にした照明器具が開発され、照明が設計された。

しかし、この当時、輝度測定技術は未発達の状態にあり、路面の(光学的)反射特性についての研究も、一部で基礎的に行なわれていたに過ぎなかったため⁹⁾¹¹⁾¹²⁾、照明器具の配光の開発も、現在のように測光的、数量的なものではなく、目視観測によるブライトネス・パターンを基礎としたものであった¹³⁾。

このような事情から、当時の先進国は、二つの異なった考え方で照明器具を開発するグループに分かれた。ひとつは、測定・計算の確実な照度を中心としたアメリカの考え方であり、いまひとつは、測定・計算が確実にはできるとはいえ、視覚の機能に直接関連のない照度で考えることは無意味であるとし、観測に基づくブライトネスのパターンを基礎とすべきであるとするイギリスおよびヨーロッパ大陸諸国の考え方である。さらに、照明器具の配光について、イギリスとヨーロッパ大陸諸国とは、少し考え方が異なった。その原因は、一灯の照明器具が路面上に生ずるブライトネスのパターンが、照明器具の配光と同時に路面の鏡面反射特性にも強く影響されることにあった。

図5 道路照明器具一灯によってできる路面上のブライトネスのパターン。照明器具の配光、路面の粗滑状態、乾燥状態、濡状態でパターンの形状が異なる。

すなわち、周知のように、運転者の方向から見た路面の反射特性は、“ツヤ消しの鏡面”とよく似たものであり、路面上の各点の輝度は、路面の材料、仕上げ、乾潤、摩擦、汚損などで異なる鏡面性とその色彩的明るさ、路面に対する光の入射方向によって大きく変動する。このため、一灯の照明器具によって照明された路面のブライトネスのパターンは、図5に示すように、照明器具の配光、路面の反射特性によって著しく異なる¹³⁾¹⁴⁾。

当時のイギリスの考え方は、(当時イギリスで多用されていたアスファルト路面が鏡面反射の強い、ツヤのあるものであったために)、水平に近い方向に強い光度を持つノン・カットオフ配光の照明器具の方が路面上の広い範囲に高い輝度が得られるので(図5参照)、このタイプの照明器具を比較的大きい取付間隔で配置して、効率よく路面の輝度を得ようとするものであった。また、ノン・カットオフ配光の照明器具によって生ずるグレアの影響は、道路面で得られる高い路面輝度によって軽減できると考えた。これに対して、ヨーロッパ大陸諸国では、比較的表面が粗く拡散反射性の強い、れんがや石畳の路面が多く、図5に示すように、ノン・カットオフ配光の照明器具を使用しても期待されるような広い範囲に高い輝度は得られず、グレアばかりが強くなるため、グレアを極力制限したカットオフ配光の照明器具の方がよいとした。

この結果、アメリカでは、反射鏡とプリズムグローブを用いて路面上の照度分布を中心にしたノン・カットオフ配光の照明器具、イギリスではプリズムグローブと反射鏡を用いて路面上のブライトネス・パターンを重視したノン・カットオフ配光の照明器具、ヨーロッパ大陸諸国では、開放形の簡単な白色の拡散反射笠を用いて運転者の方向の配光を厳しく制限したカットオフ配光の照明器具が主として用いられた。

前述のグレアに関する二つの考え方は、その後、長い間イギリスとヨーロッパ大陸諸国との間の激しい議論の対象となった。このため、1959年、CIEは、ベルギーのブラッセル郊外の自動車道路に、イギリスのノン・カットオフ方式とヨーロッパ大陸諸国のカットオフ方式の照明器具による道路照明を施設し、両方式を各国の専門家により観測・比較させた。この結果、両方式はそれぞれ改善され、イギリスでは、グレアの制限を強化したセミ・カットオフ方式を、ヨーロッパでは、輝度分布特性を改良した“第2世代”の照明器具が開発されるきっかけとなった。

3.3 “第2世代”の照明器具

オランダのde Boer等は、1952年、1954年に路面の反射特性についての研究を発表し、輝度分布を計算によって求める方法を発表した¹⁵⁾¹⁶⁾。この研究を契機として路面上の輝度分布を良好に分布させるような照明器具の配光が、主として蛍光水銀ランプと低圧ナトリウムランプを対象として検討されるようになった。

このようにして開発された照明器具が“第2世代”の照明器具である。しかし、このような“第2世代”の照明器

具で照明された道路は、輝度の均斉度が従来の“第1世代”の照明器具で照明された道路より、改善されたはずであったにもかかわらず、実際の道路照明施設の路面の、目で見た明るさ(ブライトネス)の分布は決して良好ではなく、極めて明暗の縞の強い分布の生ずるものであった。

3.4 “第3世代”の照明器具

前節で述べた路面の輝度の分布が、運転者の見る路面の明るさの分布についての印象にどのような関係があるのか、ということについての研究がde Boerらによって行なわれた¹⁷⁾。

この結果、ブライトネスの分布についての印象は、路面上での輝度分布の変化の勾配によって強く影響されることが明らかになった。このことは、同じ輝度均斉度の道路照明があったとしても、路面上の、輝度が最も高くなる点と輝度が最も低くなる点が、わずか数メートルしか離れていないトンネルの照明などの場合は、輝度の変化(勾配)が急で明るさに強い縞があるように見えるが、高さ30メートル以上もある高いポールによる、いわゆるハイポール照明の場合のように、これらの点が百メートル近くも離れ、その間を輝度が緩やかに変化している場合は、極めて一様な明るさの分布に見えることからでも容易に理解できる。

この場合、道路の長さ方向の寸法は、運転者の見る道路の透視図形のなかでは上下に小さく圧縮されるので、道路の長さ方向の輝度の変化の勾配の影響を強く感ずる。したがって、道路の長さに沿った直線上の輝度の勾配が重要である。このため、最近の照明器具では、路面上の道路長さ方向の輝度分布の変化が緩やかな輝度分布特性を持つような照明器具が用いられるようになってきている。

このような輝度分布特性を透明な外管の新型HIDランプとの組合せによって得ているような照明器具が、“第3世代”の道路照明器具である。(図6参照)

図6 第3世代の照明器具による道路照明の例。照明器具の取付高さは15メートル、取付間隔は45メートル、路面輝度は 2.5cd/m^2 、オーバハングはほとんど0。(Internat. Light. Rev. vol. 34 No. 2 p. 57より転載)

4. 照明設計の変遷

ランプや照明器具の発達、道路照明に関する基礎的な研究の進歩とともに、道路照明の設計も時代とともに少しずつ変遷してきた。

4.1 照度を基礎とした“第1世代”の照明設計

初期の道路照明が路面の照度を対象としていたことは、

前章で述べたとおりである。照度を基礎に道路照明を設計する意味は、路面の『複雑な反射特性』を無視し、路面を単純な拡散反射物とみなすことである。いい替えれば、照度の分布が一樣に近くなれば、輝度の分布も一樣に近くなる、という仮定を基礎とすることである。このため、照度を基礎とする“第1世代”の照明設計は、輝度を基礎とした“第2世代”以降の照明設計と幾つかの点で基本的に異なっている。一般的に見られる主要な相違点を挙げると次のようである。

- a) 照明しようとする道路の幅員 (w) に対する、照明器具の取付高さ (h) の比 (h/w) が小さい。
- b) 照明器具の (道路の長さ方向に対する) 取付間隔 (s) が大きい。
- c) 照明器具の傾斜角度が大きい。
- d) 照明器具のオーバハング (照明器具の中心が道路の端から道路の中心の方向へ突き出ている距離) が大きい。

これらの点は、照明を基礎に設計された照明設備の中に、すべてが同時に現われる場合もあれば、このうちの一つあるいは幾つかだけが現われる場合もある。

4.2 “第2世代”の照明設計

前述のように、第二次世界大戦の直前直後には路面輝度の所要値⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾、路面の反射特性¹⁵⁾¹⁶⁾などの研究が行なわれ、照明設計の基礎が明らかになりつつあった。しかし、前述のように、輝度測定技術的制約、路面の反射特性についての未解決な問題などのために、輝度を数量的に取り扱って設計計算できるには至らなかった。

このため、照明設計は、照明器具の配列、取付高さ、取付間隔などを变化できる実験道路¹⁰⁾などの視感観測などをもとにして、照明器具の取付高さ (h) と道路の幅員 (w) との比 (h/w)、および、照明器具の取付高さ と取付間隔 (s) との比 (s/h) を決定する方法がとられた。これが、いわば“第2世代”の照明設計である。

この場合、輝度均斉度を照明設計に関連づける方法について、イギリスとヨーロッパ大陸諸国とは異なった考え方がとられた。すなわち、イギリスが照明器具の配光を厳格に規定して、上述の比の範囲で良好な輝度均斉度を維持しようとした¹⁸⁾¹⁹⁾のに対して、ヨーロッパ大陸諸国は、路面の輝度均斉度に限界を設け、この輝度均斉度を維持しようとしたのである¹³⁾²⁰⁾。この意味では現在のわが国の建設省の道路照明設備設置基準²¹⁾は、イギリスの考え方に近い方法であるといえる。しかし、前述のとおり、照度分布と輝度分布との間に一定の対応関係はないので、ヨーロッパ大陸諸国は、路面の反射特性とその分類技術の研究を精力的に行ない、この問題を根本的に解決しようとした。

この“世代”の照明設計は、路面の明るさの分布に対する視感観測を基礎としていたので、計算的な結果を基礎にした厳格な照明設計をすることはできなかった代りに、技術的には、“第1世代”に比較すると極めて詳細な観点から、視覚工学的、交通工学的な照明設計の基礎が確立され

た。

すなわち、“第1世代”の照明設計に比較して、たとえば、雨天時における路面のブライトネスの分布を改善するために、オーバハングを制限したこと¹³⁾¹⁸⁾、単に路面を照明するだけではなく、自動車の運転者に道路の進行方向の線形を正しく誘導したり、(交差点、分岐路のような) 特殊な場所の存在を予知させるため、照明器具の配列による誘導性を重視したこと¹³⁾などである。

この意味では、わが国の道路照明の設計技術は、なお“路面の照明”にとどまっているものが多く、イギリスを含むヨーロッパ諸国の照明設計技術には学ぶべき多くの点があるといわなければならない。

4.3 “第3世代”の照明設計

a) 路面の反射特性の分類

1963年、de Boer と Westermann は、路面をその反射特性によって簡便に分類する技術を開発した²²⁾²³⁾。この研究によって、路面の輝度計算を基礎とした照明設計が初めて実用化される段階を迎えた。

この技術が開発されるまで、照明を設計しようとする道路ごとにその路面の反射特性を測定する必要があった。この場合、反射特性の測定には膨大な時間と手数が必要であって、すべての道路照明をこのような方法で設計することは事実上できなかった。

これに対して de Boer らの考え方は、あらかじめ、代表的な路面の反射特性を測定しておき、照明を設計しようとする実際の道路の路面を簡単な測定によって、それが、あらかじめ反射特性の測定された路面のどれと同じ反射特性を持つ路面であるかを分類しようとするものである。その後、この研究は多数の研究者が追従し²⁴⁾、実用的な路面は、わずかに数種類に分類できることが明らかにされた²⁵⁾。

b) 道路照明の設計目標に関する研究と“第3世代”の照明設計

1959年および1962年に、de Boer らは、道路照明の設計目標とすべき路面の平均輝度のレベルについて多面的な研究を行ない、重要な道路では 2 cd/m^2 必要であることを明らかにした²⁶⁾。続いて1966年には、de Boer と Schreuder が道路照明の不快グレアと、路面輝度、照明器具の配置、配列との関係を明らかにした²⁷⁾。これらの研究は、現在のCIEの道路照明に関する国際勧告²⁸⁾のグレア制限の基礎となった。

1971年には、成定が、輝度均斉度と路面の平均輝度が障害物の見え方に及ぼす影響を明らかにした²⁹⁾。これ以前は、輝度均斉度の影響についての組織的実験研究が行なわれていなかったため、3.3で述べたような理由で、輝度の分布に関しては、輝度の勾配だけを照明設計の対象にしようとしていた。しかし、この研究によって輝度均斉度は (自動車の運転者が) 障害物を視認できるかどうかに関与して大きな影響を及ぼすことが明らかにされたので、路面の輝度分布は、障害物の見え方に影響する (総合) 均斉度と、目で見たときの明るさの分布に影響する輝度の勾配

(車線軸均斉度)を適切に維持することが設計の重要な目標の一つとなった。この考え方は、現在の CIE の道路照明に対する国際勧告に反映されている²⁸⁾。

これらの研究によって、ようやく設計の目標とすべき路面輝度、総合均斉度、車線軸均斉度の必要な値が明らかにされ、これに対して照明器具の取付高さ、取付間隔が決定できるようになった。同時に従来のように、照明器具の取付高さ、取付間隔などについての、寸法的な基準が不要となり、初期に、イギリスとヨーロッパ大陸諸国との間に見られたような、“議論”もなくなった。これが現在実用化されている“第3世代”の照明設計である。

道路照明には、本稿で取り扱ったポール照明方式のほか、ハイポール方式、カテナリー方式なども開発されたが、これらの変遷については、ここでは省略することにした。

5. お わ り に

以上、光源、照明器具、照明設計の観点からこの約70年間の道路照明の変遷をレビューしてみた。どの技術分野もそうであるが、技術の変遷は、多岐にわたり、互に複雑に入り交じっている。この意味で、今回のレビューは、多岐にわたる道路照明の複雑な変遷を過度に簡単に取扱った恐れがあり、また、筆者の無知による誤りのあることを恐れるが、ひとつの見方として、ご寛容いただきたい。お気づきの点について、ご指摘いただければ幸いである。

参 考 文 献

- (1) 成定康平：道路照明の効果を考える，照学誌 67-5(昭58) 191
- (2) Stoer, G. W.: History of Light & Lighting, Philips Lighting Division 編 (1986)
- (3) 成定康平，松本篤二：最近のナトリウムランプの発達，照学誌 46-12 (昭37) 591
- (4) Austin, B. R.: Public lighting, Traffic Engineering and Control 17-6 (1976) 262
- (5) 照明学会関西支部，街路照明の適正化に関する調査研究委員会報告書 (昭61)
- (6) 小原清成，荒井弘志：道路照明の削減と夜間の交通事故，交通工学 16-1 (昭56) 33
- (7) アメリカ連邦高速道路局・通達244, June 10 (1977)
- (8) Dunbar, C.: Necessary Values of Brightness Contrast in Artificially Lighted Streets, Trans. Illum. Engng Soc. (London) 3-12 (1938)
- (9) Reid, K. M., Channon, H. J.: Evaluation of Street Lighting, Trans. Illum. Engng Soc. (New York) 34-12 (1939) 1209
- (10) de Boer, J. B.: Fundamental Experiments on Visibility and Admissible Glare in Road Lighting, Proceeding of CIE, Stockholm Session (1951) N
- (11) Cohu, M.: Premiers résultats des essais effectués par la Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage pour la détermination des caractéristiques réfléchissantes des divers revêtements utilisées dans les voies publiques, Review General Electric 37 (1935) 755
- (12) Weigel, R. G., Schlusser, P.: Ueber die lichttechnischen Eigenschaften von Strassendecken, Das Licht, 8 (1935) 161, 237
- (13) Dutch Recommendations for Public Lighting(1958)
- (14) CIE Publ. No. 12, International Recommendations for the Lighting of Public Thoroughfares (1964)
- (15) de Boer, J. B., Oñate, V., Oostrijck, A.: Practical Methods for Measuring and Calculating the Luminance of Road Surface, Philips Res. Rep. 7 (1952) 54
- (16) de Boer, J. B., Oostrijck, A.: Reflection Properties of Dry and Wet Road Surface and a Symple Method for Their Measurement, Philips Res. Rep. 9 (1954) 209
- (17) de Boer, J. B., Knudsen, B.: The Pattern of Road Luminance in Public Lighting, Proceeding of CIE, Wien Session (1963) p.63. 17
- (18) イギリス道路照明基準, CP 1004, Road Lighting Part 3 (1951)
- (19) イギリス道路照明基準, CP 1004, Road Lighting Part 3 (1974)
- (20) ドイツ道路照明基準, DIN 5044 (1982)
- (21) 建設省，道路照明施設設置基準 (昭56)
- (22) Westermann, H. O.: Reflexionskennwerte von Strassenbelagen, Lichttechnik 15-10 (1963) 506
- (23) 芹沢昭，成定康平：道路照明における路面の反射特性と輝度，照学誌 51-1 (昭42) 23
- (24) 成定康平，宮下正義，原詔彦：路面の反射特性の測定と分類，照学誌 53-10 (昭44) 539
- (25) CIE/PIARC Publ. No. 66, Road Surfaces and Lighting (1984)
- (26) de Boer, J. B., Burghout, F., van Heemskerck Veeckens J. F. T.: Appraisal of the Quality of Public Lighting Based on Road Surface Luminance and Glare, Proceeding of CIE, Brussels Session (1959) p.59. 23
- (27) de Boer, J. B., Schreuder, D. A.: Glare as a Criterion for Quality in Street Lighting, Trans. Illum. Engng. Soc. (London) 32 (1967) 117
- (28) CIE Publ. 12/2, Recommendations for the Lighting of Roads for Motorized Traffic (1977)
- (29) 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, Barcelona Session (1971) 71. 17

(受付1987年2月13日)