屋外照明環境の設計・評価[†]

専門会員 成定 康平*

1. はじめに

昭和50年初めごろから現在までの約10年間に、屋外照明を取り巻く環境は大きく変貌した。その最大のものは、昭和48年秋に突発した第一次石油危機の直後から始まった、あらゆるエネルギー消費分野での急激な効率改善の推進、昨年来の円レートの上昇と、石油価格の低落に伴うエネルギーコストの急落などのエネルギー事情の急変である。

照明は、最も目につきやすいエネルギー使用の形態の一つであるために、これらエネルギー事情の急変とともに、照明のエネルギー節減に対する市場の要求も急速に変転し、これに対処するための各種の技術、製品の開発が行なわれた。しかしこれらの技術、製品のなかには、急速に変転する市場の利根的な要求だけにこたえるような、本質を見失った考え方によるものも決して少なくはなく、結局のところ、時間の経過とともに本質的な研究・開発を基礎としたもの以外は短時間のうちに市場から消失していった。

以下、ここでは上記のような時代の変遷を背景として、この数年～10年の間に屋外照明の分野で、照明に関連する研究・技術開発が、どのように行なわれてきたかについて概説する。ただし、ここで取り扱う範囲は誌面のつごうもあり、屋外照明のうち、対象とする期間中に照明環境の設計・評価に関する研究・開発が比較的多く実施され、その結果、新しい照明技術が実際の施設に数多く導入され、かつそれらが学会雑誌等に多く報告された「道路交通」、および「航空」に関連する照明分野に限定する。

2. 道路交通の照明

本章では、まず実際の照明施設の建設・整備動向がどのようなものであったか、またその期間中に、照明施設に関して特徴的にいえることは何かについて簡単に述べ、その後、国際照明委員会（CIE）の動きを中心に 道路交通照明に関連する研究の動向を略述する。

2.1 照明施設の建設・整備状況

前述の第一次石油危機以降最近に至るまでの間、照明の実際および研究・開発の両面で、良きにつけ悪しきにつけ

社会全般のエネルギー事情、およびこれに対する人々の反応（エネルギー意識）の影響を最も多く受けたのは、道路照明の分野であろう。たとえば、わが国における最近10年間の道路照明施設の建設・整備状況を概念的に述べれば、次のようである。

昭和51年ごろまでは政府の公共投資抑制方針の影響を受けて、一般道路、高速道路などの建設が延期され、交通安全施設としての道路照明に対しても照明のレベル減少、照明範囲の縮小などが徹底して行なわれた。

しかし、昭和52～53年以降になると、昭和51年度を初年度とする第二次特定交通安全施設等整備事業5か年計画、および昭和53年度を初年度とする第八次道路整備5か年計画に基づく道路・トンネル照明設備の整備が本格化し、各所で照明設備の新設・改修が行なわれた。昭和57年にはわが国の高速道路の総延長が、3,000 kmを超え、これらの高速道路のインタチェンジやトンネルに対して、照明が設備されていった。

主要なものとしては、昭和60年にわが国最長の関越トンネル（延長11 km、関越自動車道）が、また同年には恵那山トンネル（延長8 km、中央自動車道）の第二期工事が完成し、それぞれに最新の照明が設置された。

一方、昭和54年に、本州四国連絡橋の最初の橋として尾道・今治ルートの大三島大橋が完成するとともに、昭和58年には同ルートの特設大橋が、昭和60年には神戸・鳴門ルートの大鳴門大橋が完成した。それぞれの橋の道路照明にはそれまでにない特別の配慮が払われた。すなわち、道路面の平均路面輝度、輝度均斉度などを所定の値に維持しつつ、橋下付近の海上を往来する船舶の操舵者への、運行上支障となる照明器具からの直視グレア、および海上面での

表 1 道路照明灯の設置状況の推移

年	全設置基数（基）	新設基数（基）
昭和51年	873,245	39,958
52	931,281	58,036
53	994,061	62,780
54	1,069,069	75,008
55	1,137,910	68,841
56	1,248,168	110,258
57	1,305,779	57,611
58	1,359,140	53,361
59	1,440,996	81,856

[†] Design and Appraisals for Outdoor Lighting Environment
* 松下電器産業㈱照明研究所 Kohei Narisada

反射グレアの防止をはかることが要求され、これを実現するような特別な照明器具が開発され使用されたことである。

これらを含め、昭和50年代の道路照明（トンネル照明を含む）灯の設置基数の推移は表1に示すようであった¹⁾。

本年は、第四次特定交通安全施設等整備事業5か年計画の初年度に当たり、今後もこの計画に従って各地で道路照明施設の建設・整備が行なわれる予定である。

2.2 照明施設の動向の特徴

次に、わが国を含め世界的な観点からこの10年間の照明施設の動向の特徴をまとめると次の二つに集約される。

(1) 照明の削減・消灯施策とその後の見直し

石油危機の直後に緊急策として、照明の消灯・削減策が大規模に実施されたことは今でも記憶に新しい。特に道路照明は、この施策の主要対象分野の一つとして世界各国で当局による厳しい対策がとられた。

わが国においては、昭和48年11月の建設省道路局長・都市局長通達令²⁾によって、トンネル内の照明や、交差点、その他の交通安全上重要な場所を除いて道路照明を調光、間引き消灯により削減、あるいは全面消灯することが義務づけられた。この施策は、当初屋外照明分野のエネルギー節減対策の目玉の一つとして徹底的に行なわれ、社会的にも受け入れられた。

しかしその後、各種の研究・調査によってこのような施策は道路交通の安全性を阻害していること、および消灯・削減による電力エネルギーの節減コストより、その結果として起こる交通事故の増加によって失われる人命や物などの社会的財産のトータルコストのほうがはるかに大きいことなどが、主として海外の研究者によって明らかにされたこと³⁾、およびエネルギー事情が緩和の方向に向かっていたことなどによって、徐々にではあるが、照明が元の状態に復帰されていった。しかし、いまだにかなりの道路でこの消灯・削減施策が残されているのが実情である。

一方、イギリス、アメリカなどにおいても、当初はわが国と同じように道路照明の削減によりエネルギー節減対策がとられたが、その後の（費用）／（効果）的調査・分析により、道路照明の削減がコスト的に有利でないことがわかると、比較的早い時期に照明がもとの正常な状態に戻された⁴⁾。そして、わが国のようにいまだにかなりの道路で照明の消灯・削減が行なわれているというような例は少なくなっている。

(2) 高効率光源の導入

石油危機の影響で、一時停滞していたわが国の道路・トンネル施設の建設も昭和53年ごろからしだいに回復し、その結果として、それらの照明施設の建設も各地で行なわれ始めた。また、このころになると照明施設の新設だけでなく、高速道路あるいは一般道路やトンネルの初期の照明施設の改修も広く行なわれるようになってきた。

このようにして新しく建設され、あるいは改修される照明施設の光源としては、従来の蛍光水銀灯などに代わっ

て、効率の高い高圧ナトリウム灯や低圧ナトリウム灯が多く使用されるようになってきた。すなわち、高効率の高圧あるいは低圧ナトリウム灯を使用することにより、従来の蛍光水銀灯や蛍光灯を使用する場合に比べて、照明のレベルあるいは質を低下させることなく、電力エネルギーを低減させるという考え方が、道路照明の建設当局および関係者の間に一般的な考え方として定着してきた。

たとえば、わが国において昭和53年に名古屋高速道路2号線で、わが国最初の高圧ナトリウム灯による本格的な全線照明が行なわれたが、これは当時としては画期的なものであった。同年、東京都江戸川区でオレンジ作戦と称して、街路照明に従来使用されてきた蛍光ランプや水銀灯が低圧ナトリウム灯に取り替えられた。このほか、東京の青山通り（昭和55年、蛍光灯を高圧ナトリウム灯に取り替え）、大阪の中央環状線の一部区間（昭和58年、蛍光水銀灯を高圧ナトリウム灯に取り替え）、あるいは高速道路のインタチェンジの照明等、この種の施設例には列挙するのにいとまがない。

一方、海外においてもこの傾向はわが国にも増して顕著であった。中でも特筆すべきはベルギーの場合で、1969～1978年（昭和44～53年）の10年間に総延長（約1,300 km）の高速道路に合計13万8千灯の道路灯を設置したが、そのうちの95%が低圧ナトリウム灯によるものであった⁵⁾⁶⁾。またアメリカにおいては、商店街の道路照明にまで低圧ナトリウム灯が使用された例⁷⁾が報告されている。現在、ヨーロッパ、アメリカにおいては道路照明用の光源としては、効率の高い高圧ナトリウム灯や、低圧ナトリウム灯を使用するのがごく一般的になっている。このことは、中国や台湾、シンガポール等のアジアの国々においても同様である。

2.3 研究・技術開発の動向

前節までに述べた道路照明施設の建設や改修、あるいは設計等が行なわれる際の理論的背景となった道路照明に関する研究や技術開発は、対象期間中に国内外においてきわめて多く行なわれた。それらの研究動向を総括的に述べると次のようである。

(1) 国際照明委員会（CIE）における研究

この分野における世界的な研究の動向を総覧するには、CIEの動き、特に勧告やテクニカルレポートの作成、出版状況を見てみるのが最も適切である。

まず道路照明については、1976～77年にCIEはそれまでの各国の研究成果をもとに、

(a) 「自動車道路の照明に対する国際勧告」⁸⁾

および、この勧告の技術的背景を解説した次の五つのテクニカルレポートをまとめて出版した。

(b) 道路照明における路面照度・輝度の計算と測定⁹⁾

(c) 道路照明施設のグレアと路面輝度の均斉度¹⁰⁾

(d) 特殊な場所（交差点ほか）の照明¹¹⁾

(e) 道路照明施設の照明減衰¹²⁾

(f) 道路照明器具（の配光）と照明施設の照明特性デー

これらのうち、(a)の国際勧告は、その時点における最新の技術情報をもとにし、道路照明の質とレベルに関する1965年の勧告¹⁴⁾を10年振りに見直し、勧告値を示したものとして重要な意味を持っている。この勧告は、わが国を含めその後の世界各国の道路照明の規格・基準の作成や改訂の際の基礎資料として使用されてきた。

(c)には、路面上の照度・輝度分布の測定方法とともに、これらを計算するためのコンピュータプログラム（その後一部修正された）と、乾湿六つの標準路面の反射特性のデータが具体的に示された。これは、その後の各国の路面輝度計算技術の向上、および路面輝度の計算結果、あるいはそれらをもとにした照明施設の設計・評価の国際的な比較検討において大いに役立った。

その後、道路交通の照明に関連して CIE が作成出版した、あるいは現在準備中のテクニカルレポートは次のようである。

＜出版済みのもの＞

(g) 道路標識の照明¹⁵⁾

(h) 湿った路面に対する道路照明¹⁶⁾

(i) 道路交通信号¹⁷⁾

(j) 路面と道路照明 (PIARC との共同レポート)¹⁸⁾

(k) 天文台近傍の屋外照明による光公害 (スカイグロウ) を最小にするための指針¹⁹⁾

このほかにテクニカルレポートではないが、1976年に街路などの照明のある区間で使用する前照灯 (タウンビーム) の所要光度等に関する CIE 声明が作成・発表された²⁰⁾。

＜準備中のもの (改訂を含む)＞

(l) 道路照明と交通事故

(m) 道路照明における見え方の基礎

一方、トンネル照明については、1977～78年ごろからトンネル入口照明に関する見直し検討が行なわれ、1984年にこれらの結果をまとめたテクニカルレポートが完成、出版された²¹⁾。このテクニカルレポートの内容には、わが国の最近の研究の成果が数多く採用されている。

また、1973年発行の CIE のトンネル照明の勧告²²⁾の見直し検討も、この2～3年の間に急速に進展している。現在すでに新しい勧告 (正式には「指針」) の骨格も完成し、オランダ、日本、ベルギーなどの技術を中心に来年6月の CIE ベニス大会までの完成を目指して、精力的な検討が進められている。

上記の道路・トンネル照明と併行して、街路の照明に関する研究が CIE で行なわれている。これは主として自動車交通以外に供される道路 (街路) に対する照明のあり方を検討するもので、自転車道や歩行者エリアの照明や照明の防犯効果などがその主な対象になっている。これらについても、これまでにはほぼ検討が終了し、現在テクニカルレポートの最終原案を作成・準備中である。

最後に、これら CIE の研究とテクニカルレポートの作

成をささえる原動力となった各国の研究のうち、基礎的な研究についての最近の動向について総括しておく。

(2) 基礎的な研究

(a) 最も多く行なわれた研究は、道路照明における障害物 (視対象物) の見え方に関するもので、これらはオランダ、西ドイツ、アメリカを中心に行なわれた。これらの研究は、路面輝度や輝度均斉度、グレアなどの照明特性を障害物の見え方の観点から検討したものが、その主なものであった。

これらの研究の最近の特徴の一つは、障害物の見え方を実際の見え方実験によらず、コンピュータを駆使した計算によって予測し (Visibility Index や Revealing Power など)、照明施設の良否を評価しようという考え方で、特にアメリカ等で多く行なわれている。

またアメリカでは、トンネル入口照明の評価を障害物の見え方を基礎とするのではなく、実際のトンネルに接近中の自動車 (あるいは自動車運転者) の挙動を長期間観測・調査し、これを評価の基礎にしようという試みがいくつか行なわれている。

(b) 路面反射特性の測定・分類に関する研究、照明特性の計算・計測方法の開発がこれに次いで多かった (デンマーク、オランダ、西ドイツ、イギリス、アメリカなどが中心)。

このうち路面反射特性の分類に関する研究については、現在の CIE による路面分類方法の再検討や、分類時に使用する測光的ファクタの再検討など、注目すべき研究が昭和56～57年ごろまでいくつか行なわれた。

(c) わが国においては、上記(a)、(b)に類する研究は少なかったが、トンネル照明における自動車運転者の目の順応輝度についての研究や、薄明視の状態での視感度やその測光方法等についての研究が精力的に行なわれた。

(d) その他、自動車前照灯とグレア・見え方に関する研究、街路照明 (防犯照明) の所要条件に関する研究等が国内外でいくつか行なわれた。特に後者についてはこれまで研究の数も少なく、今後の研究課題は多い。

3. 航空の照明

3.1 空港の整備に伴う空港照明の改善

昭和51年から開始された第三次空港整備計画の実施に伴い、国内の大小各種空港の建設、改良工事が進められた。これらのなかには、主要空港における大型のジェット機の離着陸に適するような滑走路の延長をはじめ、騒音対策、照明 (滑走路灯、進入灯、誘導路灯、エプロン照明など) の増改設などが含まれている。昭和53年には成田にわが国最大の新東京国際空港が、昭和54年には沖縄下地島にわが国初の民間航空機の訓練飛行場が完成し、それぞれに最新の飛行場灯火、空港照明が設備された。最近では、東京羽田空港の拡張計画、関西新空港の建設計画が具体的に進められており、それぞれの計画の中で照明の問題が具体的に検討されている。

3.2 空港照明に関連するわが国の研究活動

この10年間、民間交通の中に占める航空の比重が年々増加する傾向を受けて、運輸省航空局、新東京国際空港公団を中心とした政府機関による研究活動が組織的、積極的に行なわれた。航空に関する研究が他の分野のそれと大きく異なっている点は、政府機関の研究に対して照明学会が積極的に関与し、多くの実際的な問題を解決することに貢献してきたことである。以下、わが国の照明学会が政府機関から受託実施した研究のうちの主なものについて、その概要を年代順に述べる。

(a) 昭和49年度を起点として、航空振興財団からの委託を受け、『航空進入灯の見え方』に関する一連の試験研究を行なった。昭和49年度には、そのうちの「滑走路灯火の試験研究（その1. 縦列効果の研究）」を、昭和50年度には、同じく『滑走路灯火の試験研究（その2. 横列効果の研究）」を、昭和51年度には、これらに関連して、空港に着陸しつつある航空機のパイロットに対する進入灯の縦列、横列の見え方に及ぼす効果を、室内実験および新東京国際空港のランプエリアでの現場実験で確かめた。引き続いて昭和52年度には、縦列、横列の複合灯火の見え方についての実験を行ない、昭和53年度には、それまでの縦列、横列、複合灯火の見え方についての研究を基礎として、進入灯、滑走路末端灯、滑走路灯、滑走路中心線灯、設置帯灯を備えた飛行場灯火の1/25のモデルを製作し、所定の降下速度で降下しつつある観測者に対して、各種の環境条件下におけるこれらの最適な設計条件を求める実験を行なった。

(b) これと並行して昭和52年度には、運輸省航空局からの委託によって、「空港道路照明施設設置基準のための調査研究委員会」が設置され、東京国際空港（羽田）、仙台空港の照明施設の調査と、文献の調査をもとに原案が作成された。

(c) 昭和53年度には、新東京国際空港公団からの委託を受け、新東京国際空港公団の第2期工事に使用する埋込み形標識灯の開発のため、「航空灯火調査研究委員会」を組織し、標識灯の試作、標識灯の工事に関する海外への調査団の派遣などを行なった。この調査研究委員会の活動は、昭和54年度には、試作した標識灯がICAO（International Civil Aviation Organization：国際民間航空機構）の新しい仕様基準に適合するかどうかを試験するための、試験計画を立案する「航空灯火現場実用試験計画作成委員会」に引き継がれ完結した。

(d) 昭和54年度には、ICAOの国際基準の改正に対応するため、運輸省航空局から「航空標識の色」に関する工業規格（JIS W8301）の改正原案の作成を委託され、昭和55年度に完成、規格が改正された。

(e) 昭和55年度には、新東京国際空港公団から委託のあった「進入角指示灯（VASIS: Visual Approach Slope Indicator System）の新システム方式」について調査研究委員会を組織し、VASISに代わるものとして当時ICAOで検討されていたPAPI（Precision Approach Path

Indicator）をはじめとする新しい方式の利害得失が調査研究された。

(f) 昭和56年度には、運輸省航空局から「航空灯火用地上型灯器仕様開発」の委託があり、関連の調査研究が行なわれ、昭和57年度には灯器の本格試作とその一部評価が行なわれた。その結果、国際的性能規格に適合することが明らかにされた。

(g) 同じく昭和57年度には、新東京国際空港公団から「システムの調査研究」の委託があり、PAPIに使用する灯器への要求事項を明らかにするとともに、システム性能の評価項目などの調査研究を行なった。昭和58年度にはこれをもとにして、灯器の本格的な試作を行ない新東京国際空港で実験を行なった。

(h) 昭和57年度には運輸省航空局からの委託を受け、「積雪地用埋込み型灯器の構造」についての調査を行ない、新東京国際空港公団の開発した灯具を千歳空港に試設して除雪の影響などを調査した。昭和58年度には前年度の実験結果をもとに構造の改善した灯器を試作し、千歳空港で再度実験を行ない、標準的な構造のありかたを報告した。

(i) 昭和57年度には、新東京国際空港公団から「空港灯火の適正光度の調査研究」の委託を受け、照明学会で過去に行なわれた豊富な研究の調査と同時に、灯火の背景輝度の測定方法や光度制御についての研究を行ない、各種の気象条件に対する適正光度を求め報告した。

(j) 新東京国際空港公団から「航空灯火のパターンに関する調査研究」の委託を受け、昭和57年度には滑走路に関する工事などのために、航空灯火の一部が消灯された場合の、昭和58年度には灯火の故障などによって起こる灯火のパターンの崩れの影響を調査し総合的な考察を行なった。

(k) 昭和58年度には、運輸省航空局から「駐機用照明施設基本計画調査」の調査研究を委託され、「エプロン照明」について、欧米の主要空港に対してアンケート調査を実施するとともに、東京、羽田、大阪の各空港での現場測定を行なった。この活動は、昭和59年度の「エプロン照明施設基準化調査」に引き継がれ、演色性に関する検討ならびに新型の灯器についての検討を行なった。

(l) 新東京国際空港公団から「連鎖式閃光灯に関する調査研究」の委託を受け、昭和58年度は、成田空港で1/30の実験模型によって一般的な状態での、昭和59年度には、同じ実験模型によって、視程の低い状態での観測実験を行なった。

(m) 昭和59年度に、新東京国際空港公団から「航空機駐機位置表示装置」に関する調査研究が委託され、国内外の文献の調査などを行なった。

3.3 ICAOの動き

ICAOは、条約第14条の付属書（飛行場）において、航空灯火の設置運用に関する基準を定めており、各国共この基準に従って航空灯火の整備を行なっている。ICAOのVAP（Visual Aids Panel, 視覚援助施設委員会）は、この基準の見直しを継続的に行なっている。わが国はVAP

の開設以来のメンバー国として、各種の活動を行なっている。

VAPの委員会会議は、昭和51年からほぼ2年に一度の割合で、ICAOの本部のあるカナダのモントリオールで開催されてきており、わが国からも毎回参加してきた。昭和51年の会議にはCIE TC-4.5（屋外照明技術委員会：当時）を通じて、わが国からエプロン照明についての提案がなされ、これがほぼそのまま採択された。

昭和55年の会議には種々の決定が行なわれたが、とくに重要な点は、従来使用されてきたVASISに代わって新しいPAPIが採用されることになったことである。

昭和56年には、同じくモントリオールでICAOの「空港、航空路および航行援助施設に関する部会会議」（AGA部会—1981）が開催され、VAPから提出されたPAPIの採用提案が採択され、昭和60年から70年までに置き換えることが決定された。昭和58年にはICAOは、VAPおよびAGA部会の勧告に従い、条約第14付属書（飛行場）を改定し、昭和57年の11月に採択、昭和58年3月発効、同年11月から適用することを決定した。

4. お わ り に

屋外照明環境の代表として、「道路交通」および「航空」に関連する照明について過去10年間の動向を略述した。

他の照明分野と同様、これら二つの照明においてもこの10年間に多くの研究と技術開発が行なわれ、それらの結果、次々と新しい技術が生み出された。そして、それらがそれまでの技術にとって代わると同時に、次のさらに新しい技術を研究・開発する土台としての役割を果たしてきた。この意味で道路交通と航空の照明、さらには今回誌面のつごうで取り上げなかったスポーツや広場、鉄道、海上

交通等に関する照明を含め、屋外環境全般の照明分野においては、最近の先端技術分野に見られるような派手さはなかったが、この10年間に着実な技術進歩と技術蓄積が行なわれてきたといえるであろう。

参 考 文 献

- (1) 総務庁編：交通安全白書 昭和60年版（昭60）39
- (2) 建設省道路局長・都市局長通達令（昭48）
- (3) たとえば Sabey, B. E. ほか：TRRL Report LR 586, Transport and Road Reserch Laboratory (1973)
- (4) たとえば Young, S. H.: Light. Des. Appl. 12-6 (1982) 28
- (5) Clercg, G. De: Internat. Light. Rev. 23-1 (1972) 1
- (6) Clercg, G. De: Internat. Light. Rev. 36-1 (1985) 2
- (7) Spinelli, J. A.: Internat. Light. Rev. 29-4 (1978) 103
- (8) CIE Publication No. 12.2 (1977)
- (9) 同 No. 30 (1976) (絶版 現 No. 30.2)
- (10) 同 No. 31 (1977)
- (11) 同 No. 32 (1977)
- (12) 同 No. 33 (1977)
- (13) 同 No. 34 (1977)
- (14) 同 No. 12 (1965) (絶版 現 No. 12.2)
- (15) 同 No. 35 (1978)
- (16) 同 No. 47 (1979)
- (17) 同 No. 48 (1980)
- (18) CIE/PIARC Publication (1984)
- (19) IAU/CIE Pablication No. 1 (1980)
- (20) CIE Bulletin No. 30 (1976) 6
- (21) CIE Publication No. 61 (1984)
- (22) 同 No. 23 (1973)

(受付1986年9月16日)