

安全技術の変遷に関する展望

—自動車灯火システムについて—

中島源雄*

自動車の灯火基準の設定は、国情をもっとも端的に反映した規範によって成り立つものといえる。本論文では、灯火システムについて、安全運転の主要なパラメーターである、交通環境、ドライバーの視知覚、灯火の特性の面から、これまでに論じられた諸研究を概括することによって、その安全技術にかかわる変遷を展望した。

Review of Changes in Safety-Related Technology

— Lamp System for Automobiles —

Motoo NAKAJIMA*

It can be said that the specifications of automobile lamps are established on the basis of the standards that directly reflect the situation of the country concerned. This paper will discuss the changes in safety-related technology by picking up the important points of the various studies made so far and by discussing the lamp system from the standpoint of the traffic environment, drivers' visual awareness and the characteristics of the lamps themselves, which all go to form the major parameter of safe driving.

1. まえがき

自動車に関する安全技術の変遷は、車社会における科学技術と人間生活とのかかわりが、様々な面から問い直される論議を経て今日に至っている。これまでに大きな論点となったところは、排気ガスによる有害成分が徐々に蓄積して、次第に生活環境を破壊する環境汚染の問題と、交通事故のように、偶発の出来事とも見受けられるが、瞬時に発生する事故災害の問題が挙げられる。いずれも社会に与える影響は重大である。

ここで、実際に災害を防止しようとする、1つは、科学的な根拠に基づいた客観的な立場から、災害の因果関係を究明して、その結果をふまえた対策をたてる必要がある。他方、災害を引き起した責任の所在をめぐって、社会的な規範の改革も重要であ

る。

さて、この種の災害を予防安全の技術面から解決するためには、問題を生起する不都合な因果関係を断たなくてはならない。しかし、諸要因の多くは不確定な確率事象であって、これは言うほど容易な仕事ではない。したがって、現段階では災害に関する総合的な研究を拡大させて、確かな、新しい知見を増やすことがもっとも重要なことと考える。

この論文は、安全運転にかかわる車の構造部位の安全基準に視点を置いて、とくに国ごとに異なる基準が適用されている灯火に注目した。そして、前照灯、後部灯火に関して報告された工学的な諸研究を中心にたどり、それぞれの背景となった要因について、環境-人-車の3レベルから概括した。

2. 前照灯

照明のない道路においては、前照灯が唯一の照明源である。前照灯の設計要件は、対向車のドライバーに過度のグレア（眩惑）を与えることなく、道路

*国際交通安全学会顧問

Counsellors, IATSS

原稿受理 昭和63年9月16日

上に潜在的に存在する危険な対象を照明することである。ドライバーの視力、すなわち事故の回避能力に影響する前照灯の特性は、配光パターン、光度、灯火の仕様などである。そして前照灯が本来達成するように設計された機能は、ミスエイム（光軸調整不良）、よごれ、灯火の老化、不適正な電圧などによって劣化する。

2-1 夜間の視環境と事故

可視性

車を効果的に、安全に運転するためには、多くの視覚情報が必要である。その視力は夜間では劇的に損われる。したがって、視力を改善するような照明システムは安全と深いかわりがある。

照明については、前照灯よりも固定照明について、多くの結果が明らかにされている¹⁾。Scottによれば²⁾、路面の平均輝度と事故との相関がもっとも高く、Merritt 等は³⁾、照明の改善がカーブにおける事故を減少させることを証明した。

前照灯と事故の関係を明確にしたものは詳細研究によって得られたものである。Treat & Romberg の3レベル研究は⁴⁾、研究された事故の少なくとも3%は、前方照明を改善することによって防ぐことができるとしている。同様のデータを用いて、Hale & Blomberg は⁵⁾、全歩行者事故の2~23%、全自動車事故の23~32%は視認性の低下によるものとしている。推定されたパーセンテージの範囲が大きいのは、視認性が事故にかかわる割合を判断することの難しさを示している。

グレア

グレアは視力を損うという意味から、事故を促進するものである。Burger等は、決定事例法を用いて事故またはひやり事故について調査し、対向車の前照灯によるグレアがもっとも重大な問題だとしている。

要するに、前照灯の設計においてもっとも重要な2つの属性である、照明とグレアが事故の確率に関係していると考えられる。しかし、それらの種々の水準と事故との関係は明らかではない。したがって、事故の代りに可視距離といった代理基準を用いて研究しなければならない。

2-2 ドライバーの露出

夜間運転が危険であるのは、ドライバーにとって昼間と異なる視環境にさらされるために、道路をうまくたどることが困難なせいである。そのことは灯火の設計要件と環境条件の関数でもある。

灯火特性と車体仕様

前照灯の光度と配光パターンは、国情を反映した車両の保安基準と工業規格によって規定されている。

近年、ハロゲンランプの使用頻度が増大している。ドライバーはその白色の光で、いっそうよく見えるという印象を抱くかもしれないが、このような色彩差は安全とは無関係である。

フランスでは、黄色がグレアを減じるといふ仮説に立脚して、前照灯は黄色である。しかし、総合的にみて利点はほとんどない^{6,7)}。

また、ミスエイムと灯火のよごれは、ドライバーがしばしば経験するものである。

前照灯の取付けの高さと、車室内のドライバーの眼の高さは、1950年代以降、低下し続けている。アメリカでは前照灯の高さは、この30年間に約25%低下した。車体の空気抵抗をより小さくするために、異形の前照灯と灯火の小型化の技術が進むにつれて、この傾向はさらに促進されると考えられる。ドライバーの眼の高さも、同じ期間中に約11%低くなった⁸⁾。これらの傾向は国際的なもので、わが国においても変わらない。眼の位置はグレア問題と密接な関係をもっている。

着色ウインドガラスの使用頻度が増すと、ドライバーは可視性の低下にさらされる。着色ウインドガラスの光の透過率は、装着の角度によっては、69%程度にまで低下する。無着色のウインドガラスでは82~84%である。

環境特性

ドライバーがさらされる道路の性質が、夜間運転の安全と前照灯の機能に影響する。環境要因の中には、天候、道路の形態、歩行者などの重要な視的対象の特性が含まれるが、あまりデータはない。わずかに、Bhise 等が⁹⁾全米の道路サンプルについて、人工照明の分布、衣服と舗道の反射率、丘陵やカーブに対するデータを提出している。

ドライバー特性

ドライバーの夜間の見えに、グレア感受性、コントラスト感度、視力、レンズの黄変などの一群の視覚的な欠陥が影響を与える。これらの個体間の変動は大きく、また加齢によって変化する。疲労、機敏さといった、ドライバーの機能に影響しうる他の多くの要因の、母集団内の頻度についてはほとんど不明である。アルコール・レベルについてはかなりの情報がある。

2-3 前照灯の開発史

自動車の多くの構成部分と同じように、前照灯もまた長い開発の歴史がある。

アメリカにおける歴史

1900年代の初頭にアセチレンを使用した、サーチライトに似たビームパターンのものが使われた。第一次世界大戦の頃は、レンズの改良によって適切な道路照明の努力がなされた。1920年代から光度の分布に実質的な改良が行われた。1930年代中期にはシールド・ビームの構成が始まり、1940年モデルに導入された。これまでのいくつかの重要な問題が解決され、前照灯照明に顕著な発展が生まれた。1950年代の後期にかけて、4灯システムが導入された。これまでのレンズ設計で妥協する必要が軽減され、いっそうよい照明を提供した。また、2灯システムも洗練された設計となった。1970年代に入ると灯火の異形と小型化が始まり、車体の前面をより有効に利用することのメリットが可能となって、スタイリングの自由度を増した。その後シールド・ビームは安全基準の変更(75,000cdから150,000cdへ)が適用されて、さらに強力な照明が実現できた。

ヨーロッパにおける歴史

ヨーロッパについていえば、1920年に特許を得たGravesの“防眩”バルブに立脚して発展がなされた。この電球は、水平より上方に投射される光量を制限させたものである。灯火の照明効率は低下させるが、グレアを著しく減少させる効果がある。1950年代の中期にCIE(国際照明委員会)の援助によって、大掛な一連の照明テストが行われた。これによって“防眩”バルブの配光に改良が施された。この改訂された概念による配光が、その後のヨーロッパの標準となった。最近ではさらに改訂を加えて、カーブにおけるグレアと先行車のバックミラーに与えるグレアを緩和するものとなった。もう1つの進歩は、沃素(ハロゲン)光源の導入である。これに関する文献は1960年代の初頭に認められる。沃素の導入によって、フィラメントをより小型化できるので、焦点づけの問題を改善できた。また、電球の黒ずみも防止した。

前照灯基準の相違

上述の歴史的な背景によって、前照灯の配光特性は大きく分けると、アメリカのSAE方式(Fig. 1)とヨーロッパのECE方式(Fig. 2)の2種類がある*1。日本の配光基準は昭和58年10月の改正によって、SAE方式とほぼ同じものとなった。

それぞれの方式は国情に合致した特色をもたらす

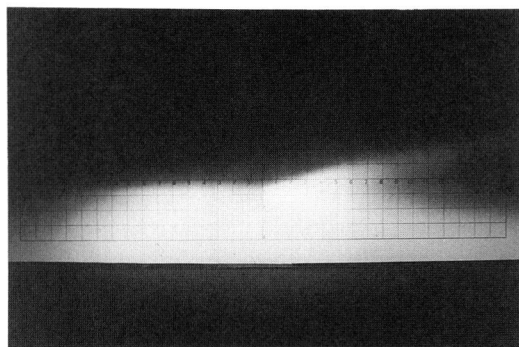


Fig. 1 SAE方式の配光パターン
Pattern of the lamp arrangement in the SAE system

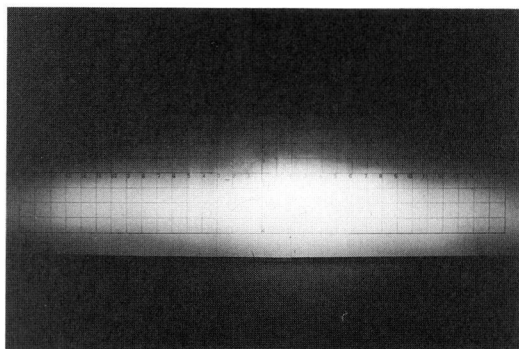


Fig. 2 ECE方式の配光パターン
Pattern of the lamp arrangement in the ECE system

が、最近、SAE方式とECE方式の間に国際整合の議論が交わされている。

2-4 研究室とフィールドの研究

前照灯の設計要件の要因を事故と結びつけることは難しい。また、上述した工学的な発展が、安全とどのようにかわるかという情報も不足している。したがって、前照灯の安全問題についての情報は、ほとんど実験的な研究とコンピュータ・モデルによるものである。

可視性

前照灯の基本的な機能は、運転に必要な道路情報と道路上の危険が検出できるように、ドライバーに可視性を提供することである。

多くの研究者が、種々の前照灯のもつ可視距離を決定しようと試み、幾分似通った方法を使用している。例えば、ターゲットは反射率7%といった様なダークグレイか、暗い布で被った、典型的には0.5

*1 配光パターンは、左側通行用に変更した試製前照灯による。

m²、または人体サイズを用いた。それは普通は平面状であるが、時には立体物のものが使用された。被験者は30才以下で、機敏で、疲労していない者を用いて、平坦な直線道路を決められた速度で走った。1つ以上のターゲットが道路の右端に沿って、既知の位置に置かれ、対向車のグレア源が左側に配置された。被験者はターゲットを検出したときには、ボタンを押して反応する。その結果は、当該条件に対する平均検出距離によって示され、時おり、分散が与えられている。Perel 等は¹⁰⁾、1930年から1982年までになされた25の可視距離に関する研究のリストを与えている。その測定された平均可視距離には大きな差がある。例えば、対向するグレア車なしの条件で、大きなターゲットに対する平均可視距離は、14m¹¹⁾から120m¹²⁾にわたっている。最小の距離を報告した諸研究は、ターゲットの位置、ターゲットの性質などに不確かさを導入するか、または機敏でない被験者の可視距離を決定しようとして、テストの性質について被験者を欺いたものである。これらの研究には重要な情報が欠けているので、諸研究の結果の違いの理由をいうことはできない。

ビーム光度

表面に達する光量は、光源からの距離の2乗に反比例する。光度を上げても背景も同時に照明されるので、コントラストは低下する¹⁰⁾。Huculak は¹³⁾、大気の散乱効果が非常に顕著なものであることを明らかにした。したがって、グレア問題を無視したとしても、より強力な灯火を使用したからといって、現在のすれ違いビームの可視距離が増大するわけではない。

グレア・コントロール

対向車が存在するときには、可視距離は顕著に減少する。可視距離を減じるグレアは不能グレアという。可視距離には影響しないが不快感を与えるものは、不快グレアと呼ばれる。グレアを増すことなくすれ違いビームの光度を増大しようという努力は、偏光フィルタと3ビーム・システム*²に集中してきたが、いずれも難点があって実際に使用されることはなかった。

不能グレア

眼に入ってくる光は、視覚媒質によってある程度散乱させられる。したがって、ランダムな照明がタ

ーゲットと背景のイメージ上に重なり合って、背景の輝度は増大し、コントラストは低下する¹⁴⁾。また、これとよく似た現象に“蒸発現象”がある¹⁵⁾。対向車の前照灯の光量が大きく、対象物からの光量あまりにも小さいためにマスクされる現象である。Grime は¹⁶⁾、グレア効果と視距離の関係を組織的に評価した。

不快グレア

不快グレアの評価は、ほとんどのものがDe Boerの1～9点尺度を用いている¹⁷⁾。その尺度値が小さい程、不快グレアは大きくなる。対向車からの減光要請は、4以下の尺度値で急増する⁹⁾。しかし、ここには評定尺度の系列効果が存在し、評定値を絶対値として取り扱うことはできない。

不能、不快グレアは、バックミラーを通して、後続車からも生ずる¹⁸⁾。

灯火の機能を劣化させる条件

現実の走行条件の下では、前照灯の機能には大きな変動がある。Yerrell によれば¹⁹⁾、設計規準から期待されるレベルの半分以下で走行しているものが25%にも達している。

前照灯のミスエイムがもっともありふれた欠陥である。車の姿勢によるミスエイムは、水平保持装置によって調節できるが、他の誤差源を除去することは難しい。

灯火のよごれによって光度が50%低下すると、可視距離は10～15%減少する²⁰⁾。この問題を解決するために、いくつかの洗浄またはワイパー・システムが実施されている。アメリカでは、この種の付属装置が灯火の機能を損うことを連邦規準が禁止している。

コンピュータ・モデル

Jehuは^{21,22)}、最初に可視距離のコンピュータ・モデルを構成した。1970年代の初期に、ミシガン大学において、平坦な直線道路における遭遇事態に適用された²³⁾。その後、丘陵とカーブを含めるように拡大された²⁴⁾。このモデルは何年間にもわたって、種々の照明システムの評価、フィールドのテストに先立った候補の選択、灯火の取付けの高さの検討に使われた。これらのモデルは、ビームの特性のある側面を評価するには非常に役立つが、一時に考慮することのできる条件は限られている。

Bhise 等⁹⁾のFordの研究者達は、包括的な評価をメリット数(FOM)としてアウトプットするコンピュータ・モデルを構成した。

*2 このシステムは、伝統的なすれ違いビームと走行ビームの間に第3ビームを設定して、グレアを増すことなく可視距離の増大をはかった灯火システムをいう。

FOMは、標準テストルートで、歩行者と舗道の区画線の可視距離、および対向するドライバーが経験する不快グレアのレベルが、同時に一定の基準を満たして走行したキロ数について、ルートの全長に対するパーセンテージとして表わす。Bhise 等はこのモデルを用いて、一群の前照灯システムを比較した。またFOMは、前照灯要因よりも、環境変数に対していっそう敏感であった。しかし、道路の幾何学といった変数は変えられないので、この後者の意味は実際的なものではない¹⁰⁾。

Fordの評価モデルは、前照灯を系統的に評価するために、現在使用できる唯一のものである。しかしFOMの計算に使用されている基準と論理について、すべての研究者が同意しているわけではない¹⁰⁾。

3. 後部灯火

現行の後部灯火、信号システムには、潜在的な問題が存在している。第1に、存在、停止、旋回情報の伝達が、現時点(1988年)でアメリカの方式に限っていえば、単一の色彩の光度差によってコード化することも許されている。第2に、一般に灯火と信号が具備しなければならない条件が、光度によって定義されている。人間の眼は照度に反応する。このように関連情報をいかにコードするかという他にも、いかなる情報がコードされなければならないかという重要な問題が存在する。後続のドライバーに必要な情報は、存在、停止、旋回、後退情報だけとは限らない²⁵⁾。

3-1 アプローチ

後部衝突事故には、次のような要因が関連している。

車両特性

灯火の数、位置、大きさ、光度、色彩、操作の様式などの一連のパラメータが後部衝突に関連している。後述するように、最近、リヤウインドガラスの付近に取り付けた補助の制動灯が、後部事故を平均50%減少させるという幾つかの研究がなされた。

ドライバー特性

ドライバーは、知覚-運動的な機能、疲労、ストレス、アルコール、薬物の使用などの点で大きく異なっている。

ドライバーの視覚特性と後部灯火の間の関係は明瞭である。例えば、老人のグレア感受性は、夜間の灯火の光度をきめる際に重要であるし、色盲はすべ

ての色彩コード案において考慮されなければならない。さらに疲労とストレスが、多くの事故の寄与因子として挙げられている²⁶⁾。しかし、それと後部衝突との関係は不明である。もっとも、ストレスと視的ノイズがトンネル視(tunnel view)を生起することには、ある証拠が存在している。

環境特性

ここでの問題は後部衝突に関するものである。それは照明条件によるものだと解釈されているが、夜間には、飲酒、疲労、ストレス下にあるドライバーの比率が高いので、この解釈は全面的に受け入れられない。他方、霧、雪、雨、埃などによって後部灯火の視認性、同定を低下させる報告は妥当なものが多い。

3-2 後部灯火関係の事故研究

アメリカの国家災害サンプリング・システム(NASS)によれば、1980年には、261万3,403件の後部衝突事故(車対車の全事故の25%)が発生した。また死亡事故報告システム(FARS)によれば、同年に4,668件の後部衝突事故による死亡事故が発生したが、これは全死亡事故の7.4%にあたる。このような数字は、後部灯火に関連した事故の母集団を定義する。

減速警告灯

Voievodsky は²⁷⁾、サンフランシスコの500台のタクシーの、後部中央に橙色で、その光度と点滅のサイクルが、0~0.5Gの減速範囲で指数的に変化する減速警告灯を取り付けた。720万マイル走行する間に、コントロール群と比較すると、事故率が60%低下することを明らかにした。

もっとも、後にMortimerは²⁸⁾、ハイマウントの補助制動灯と、同じ灯火がフラッシュする場合、また減速率に対してコードされている場合に有意な差はなく、Voievodskyの結果は、付加された補助灯の位置の効果であることを示唆した。

中央、ハイマウント補助制動灯

Malone等は²⁹⁾、ワシントン地区の2,100台のタクシーに、単一のハイマウントの補助制動灯を装備し、6,000万マイル走行する間に、実験群で後部事故が54%有意に減少することを明らかにした。他の研究者による同じ規模の研究でも、同様の減少効果が認められている。

3-3 コンピュータ・シミュレーション

Motimer & Calsonは³⁰⁾、2台の車が一定の間隔と速度で走行している事態で、先行車が急ブレーキ

をかけたときの事故の確率を問題とした。その事態を定義するために、種々の灯火の信号システムに対する知覚時間、ブレーキ反応時間の分布、速度と反応時間の分布が用いられた。

3-4 研究室とフィールドの研究

この領域に対する研究者の関心が、1960年代の遅くに出現した。当時、合衆国運輸省は主要な6研究を助成した。これらの研究は、とくにミシガン・ハイウェイ研究所において追隨された。

検出の最大化

可視距離、コントラスト閾値、単純反応時間などが検出研究の測度として使用されている。光度、面積、輝度といった信号パラメータが増大すれば検出性は高まる。しかし、ある条件で検出性が高いことが、他の条件でもそうだとは限らない。例えば、可視距離は輝度の単調関数である。しかし、それは夜間にはグレアを生じる可能性がある。検出性を高めるためには：a) 光度または輝度を増すこと、そのことは、サイズ閾値、単純反応時間、眼球の跳躍運動(saccadic movement)の開始、のいずれで測っても、より有効な検出をもたらす。後部灯火の応用研究においても認められている。光度または輝度を増すことの不利な点は夜間にグレアが大きいことである。b) 面積、輝度閾値は、刺激サイズの逆関数である。応用研究においても、それを支持する結果が得られている。しかしながら、大きさと輝度の相対的な重要性は不明である。c) 灯火間の間隔によっては、側方を遮蔽する可能性がある。光度の大きな後部霧灯は制動灯を遮蔽する。d) 取付けの高さについては、視線近くに位置する刺激は、周辺刺激よりも検出閾が低い。このことは薄明視下においても正しい。これはまた、ハイマウント・制動灯の効果の一部を説明するものであろう。しかし、視線近くの輝度の大きな刺激は、グレアを生じ易いことも見過ごせない。e) 色彩に関して、視覚システムは、すべての波長に同じようには反応しない。絶対閾が光の波長に依存するという証拠がある。また、顕著性が色彩に依存するという証拠もある。色彩視に欠陥をもつ人、老人が、ある波長に問題をもつことは明らかである。

同定の最大化

現在の灯火システムのもっとも主な弱点は、眼がいかに反応するかということとは無関係な単位によって、灯火の機能が明細化されることである。信号機能を分化させるための可能な方法としては、：a) 停

止と存在の信号の輝度比を大きくする。b) 単一の灯火に単一の機能を遂行するように、機能を分離する。c) 完全な色彩コードシステムは、実験的な諸研究によって、もっとも有効なものだとしている。

3-5 いかなる情報が追加されるべきか

上述のことは主として、いかに情報を提示すべきかということであった。ここでは、存在、停止、旋回、後退という伝統的な後部灯火に対する要請以上の情報について述べる。

提案された追加情報としては、減速の信号²⁷⁾、速度指示の信号³¹⁾、アクセル位置の信号³²⁾、距離手掛かりの信号^{33,34)}などがあるが、いずれも実験的な証拠は決定的なものであるとはいえない。

4. むすび

灯火システムを例に、今日の安全技術の発展を築いた背景について、これまでの諸研究を下敷に展望した。

夜間運転における安全問題は、勿論、環境-ドライバー-車の3レベルによって、説明できることではあるが、灯火に限って言えば、さらに社会的な習慣にも影響されるような、上位の文化的な規範を、もっとも反映するものといえよう。

最近、灯火の分野において、安全にかかわる規準について、国際整合の問題が議論されている。今日の国際化時代の進展からすれば当然の結果であろう。しかし、歴史的な視野に立てば、この問題は簡単には済まされないことである。

この議論を不毛に終らせず、積極的な安全対策に実らせるためにも、多くの研究者の努力が、いっそう災害研究の側面に向けられることを望むものである。

参考文献

- 1) Gallagher, V.P. and Janoff, M.S.: Interaction between Fixed and Vehicular Illumination Systems. Franklin Institute Research Laboratories, Philadelphia, Report No. FHWA-RD-72-51, July, 1972
- 2) Scott, P.P.: The Relationship between Road Lighting Quality and Accident Frequency. Transport and Road Research Laboratory TRRL LR292. 1980
- 3) Merritt, J.O., Helander, M. et.al.: The Effect of Wide-Angle Headlight Illumination on

- Driver Performance. Human Factors Research Inc., Contract No. DOT-HS-7-01724, June 1982
- 4) Treat, J.R. and Romberg, R.A.: Tri-Level Study; Modification Task 1; Final Report on Potential Benefits of Various Improvements in Vehicle Systems in Preventing Accidents or Reducing their Severity. Final Report, Institute for Research in Public Safety, Indiana University, Report No. DOT-HS-805-094.
 - 5) Hale, A. and Blomberg, R.D.: Conspicuity for Pedestrians and Bicyclists Task 2 Interim Report; Operational Definition of Conspicuity and Accident Analyses. NHTSA Contract, DTNH 22-80-C-07052, February 1982
 - 6) Devaux, P.: Unified European Passing Beam and Yellow Light. International Road Safety and Traffic Review. Vol 4, pp. 33-39, 1956
 - 7) Schreuder, D.A.: White or Yellow Light for Vehicle Headlamps? Institute for Road Safety Research SWOV, Report No. 1976-2E, 1976
 - 8) Lee, R.L. and Scott, D.P.: Driver Eye Height and Vehicle Sales Trends. Federal Highway Administration, Office of Highway Safety, January 1981
 - 9) Bhise, V.D. et al.: Modeling Vision with Headlights in a System Context. SAE Paper 770238, 1977
 - 10) Perel, M. et al.: Motor Vehicle Forward Lighting. SAE Paper 830567, 1983
 - 11) Johansson, G. and Rumar, K.: Available Braking Distances in Night Driving. Department of Psychology, University of Uppsala, Sweden, Report No.13, November, 1963
 - 12) Hemion, R.H. and Hull, R.W.: Optimum Two-Lamp Headlighting System. Final Report, Southwest Research Institute, San Antonio, Texas, Report No. AR-891/DOT-800890, July, 1973
 - 13) Huculak, P.: Ascertaining the Effects of Atmospheric Factors During Visual Detection Experiments in Automobile Headlighting. National Research Council, National Aeronautical Establishment, Ottawa, Canada, Report No. LTR-ST-987, May, 1978
 - 14) Cole, B.L.: Some Observations on Disability Glare. In Proceedings of Glare Seminar, Australian Road Research Board, Victoria, 1977
 - 15) 末永一男、他「夜間運転と視認に関する研究、その1—道路中央線上の人と見え方—」『交通医学』vol. 24, No.3, pp. 235-239, 1970年
 - 16) Grime, C.: The Performance of Head-Lamp Meeting Beams. Institution of Mechanical Engineers, Automobile Division, Proceedings, Vol.13, pp.108-129, 1954-1955
 - 17) DeBoer, J.B.: Quality Criteria for the Passing Beam of Headlights. Paper presented at the CTB meeting in Walldorf, West Germany, September, 1973
 - 18) Olson, P.L. and Sivak, M.: Improved Low-Beam Photometrics. HSRI, University of Michigan, Report No. UM-HSRI-81-4, February, 1981
 - 19) Yerrell, J.S.: The Performance of Two Self-Levelling Headlamp Systems. Road Research Laboratory, No. RRL Report LR 378, 1971
 - 20) Rumar, K.: Dirty Headlights-Frequency and Visibility Effects. Department of Psychology, University of Uppsala, Sweden, Ergonomics, Vol. 17, No.4, pp. 529-533, 1974
 - 21) Jehu, V.J.: A Method of Evaluating Seeing Distances on a Straight Road for Vehicle Meeting Beams, Transactions Illuminating Engineering Society, Vol. 20, No. 2, pp. 57-68, 1955
 - 22) Jehu, V.J.: A Method of Evaluating Seeing Distances on a Curved Road and its Application to Headlight Beams in Current Use. Transaction Illuminating Engineering Society, Vol. 22, No. 3, pp. 69-83, 1957
 - 23) Mortimer, R.G. et al.: Passenger Car and Truck Signaling and Marking Research; I. Regulations, Intensity Requirements and Color Filter Characteristics. HSRI, University of Michigan, Report No. UM-HSRI-HF-73-18, 1973

- 24) Mortimer, R.G. and Becker, J.M.: Computer Simulation Evaluation of Current U.S. and European Headlamp Meeting Beams, and a Proposed Mid Beam. HSRI, University of Michigan. SAE Paper 740311, 1974
- 25) Henderson, R.L. et al.: Motor Vehicle Rear Lighting and Signaling. SAE Paper 830565, 1983
- 26) McMurray, L.: Emotional Stress and Driving Performance; the Effect of Divorce. Behavioral Research in Highway Safety, Vol. 1, pp. 100-114, 1970
- 27) Voevodsky, J.: Evaluation of a Deceleration Warning Light for Reducing Rear-End Automobile Collisions. Journal of Applied Psychology, Vol. 59, No.3, pp.270-273, 1974
- 28) Mortimer, R.G.: Field Test Evaluation of Rear Lighting Deceleration Signals; II-Field Tests. Final Report, Department of Health and Safety Education, University of Illinois, Contract No. DOT-HS-806-125, 1981
- 29) Malone, T.B. et al.: Field Test Evaluation of Rear Lighting Systems. Final Report, Contract No. DOT-HS-5-01228, 1978
- 30) Mortimer, R.G. and Carlson, W.L.: Rear Lighting Systems Evaluated with Empirical Driver Performance Data in a Car-Following Model. Presented at the Annual Meeting of the Operations Research Society of America, Oct. 29, 1970
- 31) Jollitte, C. et al.: An Evaluation of a Rear-Mounted Vehicle Speed Indicator. Highway Research Board, No. 336, 1971
- 32) Mortimer, R.G. and Sturgis, S.P.: Evaluation of an Accelerator Position Signal. Transportation Research Board, 55th Annual Meeting, 1976
- 33) 中島源雄、他「視覚反応における後部灯火器の検討：特に夜間における車間距離の接近現象について」『国際交通安全学会誌』Vol.5, No.4, pp. 19-31, 1979年
- 34) 中島源雄、他「視覚反応における後部灯火器の検討：特に接近現象のメカニズムについて」『国際交通安全学会誌』Vol.6, Ext.ed., pp. 49-57, 1980年