トンネル入口照明における注視開始点

専門会員 成定 康平* 専門会員 吉川孝次郎*

Eye Movements of Drivers Approaching Tunnels

— A Basis of Tunnel Entrance Lighting —

Kohei Narisada (Fellow Member) Kojiro Yoshikawa (Fellow Member)

(Lighting Research Laboratories, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

Summary

It was found that the present Japanese recommendations for daytime tunnel entrance luminances are considerably lower than those of CIE and the difference has been attributed to the Japanese assumption that after a certain point on the approach a driver's eyes are increasingly fixated on the tunnel entrance ahead.

To verify this the eye movements of drivers approaching tunnel entrances in daytime were investigated experimentally one by the direct observations and the other by means of a corneal reflection eye-marker recorder fixed on observer's head, under various traffic and weather conditions.

The results show that the concept of a "fixation point" is valid and avoids the difficulty of determining the "adaptation point upon which the present CIE recommendations are based.

1. 緒 言

Schreuder は¹⁾, 各国で用いられているトンネル入口照明の異なった概念, 特に日本の勧告²⁾と CIE (国際照明委員会)の勧告³⁾との比較を行ない, それぞれ独自に設定された二組の勧告が, 二, 三の差を除いてはきわめて良く一致していることを明らかにした. 日本と CIE の勧告との差のうち最も重要なものは, トンネル入口付近の輝度, すなわち“野外輝度”と境界部に対して勧告された輝度の比である.

Schreuder は, 種々の検討から, 与えられた同じ実験条件においては, CIE および日本の勧告が基礎としている実験の結果は^{4)~6)} 相互に一致しており, 二組の勧告が, これらの非常に類似した実験結果を基礎としているにもかかわらず, 順応開始点の位置に関する考え方が異なるため, 異なった結果が生じていることを指摘した. ここでいう順応開始点とは, 前方に比較的暗いトンネル

入口が存在するために, 運転者の目の順応状態が変化し始める道路上の点であると定義する.

筆者らは, 順応開始点に直接影響を及ぼす注視開始点 (トンネル坑口へ接近する運転者が, 暗いトンネル内を注視しはじめる点) について種々の実験を行ない, 日本の勧告で用いている順応開始点の概念が, 適切であるとの結論を得たのでこれを報告する.

2. CIE と日本の勧告との相異点

2.1 入口照明曲線の決定にあたっての仮定

二つの勧告は, それぞれトンネルの入口に接近しつつある運転者の視覚行動について, 二, 三の仮定を基礎としている.

CIE の勧告では, 次のような仮定が行なわれている.

(a) 自動車がトンネルに接近しはじめたとき, 運転者の目は, “野外輝度”に順応している. ただし, 山間部および都市部における野外輝度は, トンネル入口より, 250 m, 150 m および 50 m の距離から車の進行方向に向かって測った視角半径 10° の円形視野内の平均輝度の加重

* 松下電器産業株式会社照明研究所

平均によって計算する¹³⁾(式の詳細は、参考文献 (1) を参照)*。

(b) 運転者の目の初期の順応状態は、運転者が順応開始点に到達するまで一定に保たれ、ここから急激に低下する。

(c) 順応開始点とトンネル入口との距離、すなわち、“順応開始距離”は、通常の高さのトンネル坑口の場合約 25 m である。

(もし、トンネル坑口の高さが増大したときは、適用すべき順応開始距離もこれと比例して増加する。)

上述のような仮定を用いつつ、トンネル入口部の推奨輝度は、順応輝度(野外輝度とは異なる)と与えられた対象物を知覚するのに必要なトンネル内輝度との関係を示す実験結果から、順応輝度を野外輝度に読み代えて導き出された。

一方、日本の勧告は次のような仮定を基礎としている。

(d) トンネルに接近しはじめたとき、運転者の目は野外輝度に順応している。

(e) 比較的暗いトンネルに対する運転者の目の順応(の低下)は、自動車はまだ野外道路上にあるときに、運転者が、視線を前方のトンネルに集中しはじめる点、すなわち“注視開始点”から始まる。

(f) 注視開始点とトンネル入口との間の距離、すなわち、注視開始距離は 150 m あるいはそれ以上である。

このような仮定を用いつつ、トンネル入口部の推奨輝度は、初期順応輝度と与えられた対象物を知覚するに要するトンネル内輝度との関係を、運転者がトンネル入口に視線を集中しはじめる瞬間からの時間の関数として示す実験結果から、初期順応輝度を野外輝度に読み代えて導き出された。

CIE の仮定(a)および日本の勧告の仮定(d)は、さまざまな研究者によって広く受け入れられているが⁽⁴⁾⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾、仮定(b)は実験的にまだ立証されていない。また仮定(c)は、Schreuder の実験によって得られたように、設定すべき輝度が観測者の目の順応輝度の関数として決まること、および成定ら⁵⁾⁽⁶⁾の研究によって得られたように設定すべき輝度が、観測者がトンネル入口に視線を集中しはじめる瞬間から、低下しはじめるという事実によって間接的に立証されている。

仮定(c)と(f)の差は Schreuder によって指摘され、すでに述べた。

2.2 順応開始点と注視開始点

二つのことばの定義は、注視開始点の考え方が、順応開始点の考え方と非常に異なっていることを明確に示している。したがって注視開始点の場所、すなわち注視開始距離が精密に求められたとしても、これによって順応開始点をも求めたことにはならない。

理論的には、トンネル照明で重要なのは後者であるが、実際の運転条件、交通条件において、その位置を簡単に求めることはできないため、これを用いることは困難である。

この問題は、照明シミュレータを用いることによって研究された。このシミュレータは、観測者の前方にある均一な視野内に、5 m×10 m の大きさの“トンネル入口”を、150 m あるいは 200 m (観測者に先立って仮定していた注視開始距離)から見たのと同じ大きさをもつ矩形のトンネル入口が、突然現われるように設計されている。観測者には、まず適切な予備順応時間を与え⁵⁾⁽⁶⁾、予備順応の間、トンネル入口はほとんど見えない構造となっている。トンネル入口が観測者の視野内に現われた瞬間から、ちょうど実際の走行状態で、野外道路からトンネル入口に接近する途中におけるように、模造されたトンネル入口が、自動的かつ徐々に拡大された。このような条件において、観測すべき対象物をトンネル内に 0.5 秒間提示した。実験中、観測者は障害物を識別するために、常に視線をトンネル入口に連続して、集中しなければならなかった。

このように、実験では観測者はシミュレータによってトンネル入口をあらかじめ定められた一定の注視開始距離、150 m あるいは 200 m からその視線が集中させられるようになっていた。

二つの注視開始点に対する観測の結果を慎重に比較した結果、それぞれの間には有意差は見出されなかった。このことから(トンネル内に)設定すべき輝度は、観測者がトンネル入口より 200 m 以内の距離にあるならば、観測者(すなわち運転者)が、その視線を前方のトンネル入口に集中しはじめる瞬間からの、時間の関数で示すことができるという結論を得た⁵⁾(このシミュレータおよび実験の詳細は文献(5)参照)。

このようにして、順応開始点を求めるというむずかしさが避けられ、順応開始点ではなく注視開始点の位置が日本の勧告の基本的な点となったのである。この実験の結果、およびこれをもとにしての設計手順は、すでに述べたので省略する⁶⁾。

観測中の観測者の目の運動を、後述するようなアイマークレコーダによって検討した。その結果、期待したように観測者は、観測中、模造されたトンネル入口にその視線を集中していることが明らかになった。

* トンネルを中心とする半径 10° の円形視野の平均輝度値のうち、入口より 250 m より測定したものを L_{250} 、150 m より測定したものを L_{150} 、50 m より測定したものを L_{50} とするとき、入口照明の設計に使用する野外輝度 L_1 の値は、次式で計算することが CIE の国際勧告で推奨されている。

$$L_1 = \frac{L_{250} + 2L_{150} + 3L_{50}}{6}$$

2.3 トンネル入口に接近しつつある運転者の目の運動

図1は、Zell⁽¹⁾の研究を基礎とした Mourant と Rockwell⁽¹⁰⁾の報告から引用されたもので、ある未熟な運転者の視野内の種々の場所に対する注視時間の割合(%)が、運転経験によって変化する状態が格子の中に示されている。このデータをもとに Schreuder は、成定によって導入された注視開始点が、“不適當で非現実的”であると述べた。

図1 未熟な運転者の運転経験の増加による眼球運動の変化 (Zell)

Fig. 1 Change of eye-movement of a novice driver with increase in driving experience (after Zell).

彼は、昼間トンネルに接近しつつある運転者の通常の視線は、前方道路のある場所に集中するのではなく、数度の広がりをもつ領域に対するひんばん、かつ急激な目の運動によって特長づけられると主張した。しかしながら、Zellのデータは、昼間における通常の運転状態を説明することはできない。なぜならば、このデータは実験に参加した運転者が、運転経験が3時間以下の未熟な運転者に関するものであるからである。

実験は種々の運転条件において、4回にわたり、1か月に1日、1か月ごとに3か月にわたって行なわれた。図1に、データを得た時期が、その左上すみにそれぞれ

Stage 1, 2, あるいは4として示されている。この図から Stage 4における目の運動の広がり、Stage 1あるいは2よりも小さく、視線の動きも小さいことを知ることができる。このことは、未熟な運転者でさえもただの10時間前後の運転経験によって、すでにその視線を前方風景、および道路の一部分に集中する傾向を示すことを意味している。

図1の Stage 4に示されるように、このような視線の集中は視線中心に対して、 $6 \sim 7^\circ$ の範囲内に存在している。これに対して最大幅10 m、最大高さ6 mのトンネル入口を、野外道路上100 m離れた地点から見たときに占有される大きさは、水平に約 6° 、垂直に約 3.5° を含んでいる。そのうえ、昼間トンネルの入口に接近しつつある運転者は、通常、野外道路とその周辺を視野の周辺部で警戒しながら、比較的暗いトンネル入口に向かって注意を集中しようとする傾向がある。なぜならば、トンネルの中には、危険が存在するかもしれないからである。

このような目の運動の変化は、すでに他の研究者によっても報告されている。たとえば、最も興味のある場面が、映像面の中心部に位置するようなテレビ番組を見ているときに、アイマークレコーダで記録された目の運動範囲は、探知すべき目標の場所を予知することが、より困難なレーダの映像面を監視しているときに記録されたそれよりも、かなり小さいという研究報告からも明らかである^{(12),(13)}。

3. 注視開始点の場所を求めるための実験

注視開始点を求めるため、次に示す2種類の観測を行なった。

(a) 実際のトンネル入口に向かう道路上での、注視開始点の位置に関する直接観測 (観測1)

(b) 実際のトンネル入口に向かう道路上での、アイマークレコーダによる目の運動に関する観測実験 (観測2 Aおよび2 B)

3.1 直接観測 (観測1)

注視開始点の位置に関する大まかな概念を得るため、いくつかのトンネルに向かう高速道路において、種々の交通条件、天候条件における運転者の目の動作状態の直接的な観測を行なった。実験は、距離約500 kmに及ぶ京都一東京間の高速道路上の20個のトンネルを、両交通方向にわたって観測した。各トンネルの入口照明は、 $50 \sim 100 \text{ cd/m}^2$ 程度の輝度を与えるものであった。

2人の熟練した運転者AおよびBに、自動車を指定された一定の $55 \sim 100 \text{ km/h}$ の速度で走行させ、前方のトンネルの入口に、その視線を集中しはじめる瞬間を回答させた。

運転者の隣にすわった実験者が、ストップウォッチによって、運転者がトンネルに視線を集中しはじめた瞬間と、自動車がトンネル入口に到達した瞬間との間の経過時間を測定した。注視開始距離は経過時間と維持された走行速度から計算した。

交通状況が、注視開始距離に及ぼす影響を確かめるため、実験者の席からトンネルの入口を最初に注視した瞬間におけるトンネル入口の写真を撮影した(図 2)。

図 2 運転者が視線をトンネル入口に集中しはじめた瞬間の情景の例(三ヶ日トンネル)

Fig. 2 A typical photograph taken at the moment the observer stated he was concentrating his visual attention on the tunnel entrance(Mikkabi tunnel).

表 1 直接観測(観測 1)によって得られた注視開始点

交通方向	大阪→東京(上り)				東京→大阪(下り)			
	観測者 A		観測者 B		観測者 A		観測者 B	
速度・注視距離	速度	注視距離	速度	注視距離	速度	注視距離	速度	注視距離
	V(km/h)	FD(m)	V(km/h)	FD(m)	V(km/h)	FD(m)	V(km/h)	FD(m)
梶原第 1 トンネル	70	198	—	—	80	222	—	—
梶原第 2 トンネル	—	—	70	334	—	—	65	144
天王山 トンネル	80	228	—	—	80	289	—	—
蟬丸 トンネル	80	252	60	200	75	150	70	156
大津 トンネル	—	—	80	144	60	173	70	121
箱根 トンネル	75	376	80	488	55	167	60	103
米原 トンネル	77	160	80	155	—	—	—	—
関ヶ原 トンネル	95	320	80	289	95	169	80	311
宇利 トンネル	100	240	80	231	80	173	80	131
三ヶ日 トンネル	95	221	80	244	90	154	85	163
日本坂 トンネル	95	274	80	209	—	—	—	—
小坂 トンネル	100	198	80	244	100	171	75	208
袖師 トンネル	100	203	80	178	80	196	80	204
清見寺 トンネル	100	168	60	133	100	256	80	271
興津 トンネル	95	235	80	211	80	162	80	160
薩埵 トンネル	100	186	80	178	80	226	80	186
蒲原 トンネル	95	167	80	178	65	219	80	213
都夫良野 トンネル	80	203	80	133	80	179	80	213
吾妻山 トンネル	70	144	55	168	75	160	80	226
大和 トンネル	90	240	80	289	65	282	60	247
(平均)	89	230	75	227	79	196	75	192

表 1 は、20 個のトンネルそれぞれについて、両観測方向に関する 2 人の観測者の全データを示す。表の空白は、自動車の直前に他の自動車が存在したか、接続する

トンネルとの距離が短すぎるかのいずれかのために、観測者が、その視線を前方のトンネル入口に集中しはじめた瞬間を回答しなかったものである。以下の結果は、これらのデータから得られたものである。

(a) 図 3 に示すように、注視開始距離は走行速度によって大きくは影響されない。

図 3 走行速度と(直接観測から得られた)注視開始距離との関係

Fig. 3 Relationship between fixation distance (obtained from direct observations) and driving speed.

(b) 各観測者によって得られたデータから計算された同じ進行方向に対する、観測者 A B 間の平均注視開始距離は 2 % 以内で一致した。

それぞれの進行方向に対する、各観測者の注視開始距離の累積ひん度分布を作り比較した。この結果、それぞれの間の差は無視し得ることが明らかになった。しかしながら、梶原トンネルから大和トンネル、すなわち京都から東京へ向かう場合の平均注視開始距離が、その反対方向よりも約 18 % 大きいことは注目に値する。

最終的に、全体のデータに対する注視開始距離の累積ひん度分布を作成し、図 4 に示した。この図は(図 2 のように)たとえ、自分の運転している自動車が他の自動車に接近して追従しているときでも、運転者が 100 回のうち 87 回は、150 m よりも遠い場所から前方トンネル入口に対して視線を集中すると、回答したことを示している。

この結果は、観測したトンネルに設置されている入口照明のレベルによっても影響されたかもしれない。すなわち、このような古いトンネルに接近しつつある運転者

図4 直接観測から得られた注視開始距離の累積ひん度分布

Fig. 4 Cumulative frequency distribution of the fixation distance obtained from direct observations. The ordinate shows the percentage of cases in which the observers started to concentrate their visual attention on the tunnel entrance at a distance on the access road greater than that indicated on the abscissa.

は、トンネルがたいへん暗く見えるため、たとえ他の自動車に接近しているときであっても、その視線をトンネル内へ集中するからである。

3.2 高速道路トンネルに接近しつつある運転者の目の運動を記録するためのアイマークレコーダを用いた実験 (観測2 Aおよび2 B)

実際の運転条件、交通条件におけるトンネル入口の透視図の風景に対する目の運動を、角膜反射式のアイマークレコーダによって映画フィルム、およびビデオテープに連続記録した。アイマークレコーダの一般的な原理や構造は、従来の報告の中に述べられているそれと同様のものである。これによって、明るいV形のアイマーク(その先端が観測者の視線中心を示す)を観測者の見る風景の上に焼き付けた。

実験の本当の目的を知らされていない2人の職業運転者を観測者とした。アイマークレコーダの光学ヘッドは

図5 走行中の運転者に装着したアイマークレコーダ

Fig. 5 Optical head of the eye-marker recorder fixed on the driving observer's head.

図5に示すように帯で観測者の頭に固定した。

観測2 Aでは、観測者のうち1人に、乗用車をトンネルが五つ存在する吹田と大津の間的高速道路を、あらかじめ指定された60 km/h と、80 km/h の間の一定の速度で走行させた。

観測2 Bでは、今1人の観測者に小型バスをトンネルが10個存在する、東京と焼津の間的高速道路を70 km/h の一定速度で走行させた。すべての観測は晴天の昼間に行なった。

観測に先立って、モニタ・テレビのスクリーン上のアイマークの位置が、観測者の述べる注視点の中心と一致するように入念に調整した。

目の運動の記録は、いずれの場合もトンネル入口から約500 mの野外道路上から開始し、ちょうどトンネル入口の下で終了するようにした。

図6 トンネル入口に接近する自動車運転者の視野とV形のアイマーク

Fig. 6 V-shaped eye-mark superimposed on a typical scene at a tunnel entrance.

図6は、観測2 Aで行なった実験の映画フィルムからの1シーンを示す(アイマークレコーダによって記録される画質は、道路の画像が撮影機またはビデオカメラに光学ファイバの束を通して伝送されるため、いくぶん劣化する)。

3.2.1 観測2 Aのデータ解析

映画フィルム上に記録された道路の風景と、この上に重ねて焼き付けられたアイマークの位置を、電子計算機に組み合わされた特別の装置によって分析し、運転者が見る道路の風景の透視図形内のアイマークの位置をX-Y座標の関数としてパンチアウトした。

図7は、得られたデータの代表例である。横軸はデータを得た点とトンネル入口との間の距離を示し、縦軸は、トンネル坑口の中心0に対する観測者の視線の中心の偏位を任意目盛で示してある。

二つの曲線は、トンネル入口からの横軸に対応する野外道路上のある距離にいる観測者の目から見た、トンネルの見掛けの右半分の幅(D_R)、左半分の幅(D_L)、お

図 7 映画フィルムの記録から得られたデータの例
縦軸は、トンネル坑口の中心に対する観測者の視線の中心偏位を任意目盛で示す。それぞれの曲線は、接近中の観測者から見たトンネルの見掛けの右半分の幅 (D_R)、左半分の幅 (D_L)、高さ (D_H) の変化を示している。

Fig. 7 Sample of data from ciné film record. The ordinates represent on an arbitrary scale the displacement of the centre of attraction of the observer's eyes in relation to the centre of the tunnel mouth. Curve D_R shows the variation of the apparent right half-width, curve D_L the apparent left half-width, and D_H the apparent height of the tunnel entrance as seen by the observer during approach.

および高さ (D_H) の変化を同じ任意目盛で示したものである。

アイマークのない場所は、運転者がまばたきのために目を閉じたか、バックミラーを見ていた時間である。プロットしたデータは、12 コマ/秒の速度で記録された映画フィルムのオリジナルなデータの中から 3 コマごと、すなわちフィルムの 3 コマ間隔で分析したものである。

したがって、2 本の曲線で囲まれた部分にプロットされているデータは、もし先行車がなければ、観測者がトンネル入口に視線を集中していることを示している。図 7 の場合は、前方に自動車は存在しなかった。

各々のトンネルに関するデータは、次のようにして解析した。図 7 に示すように目の運動を示す一群のデータをスクリーンに投射しながら、それぞれの道路の風景と、これに焼き付けられたアイマークとを注意深く参照した。注視時間率 (%) は、分析されたコマ数 (n_1) と二つの曲線で取り囲まれた部分にプロットされたアイマークの数 (n_2) との比、すなわち $n_2/n_1 \times 100\%$ として計算した。このようにして計算した四つのトンネルに関する注視時間率 (%) を表 2 に示す。注視時間率は、野外道路上のトンネル入口から、それぞれ 150 m および

表 2 各道路区間におけるトンネル注視時間率の割合 (%) (観測 2 A)

トンネル名	道路区間 (トンネル入口からの距離)	
	0~150m	0~200m
梶原第 1 トンネル	81	77
梶原第 2 トンネル*	—	—
天王山 トンネル**	50	53
蟬丸 トンネル	85	72
大津 トンネル	72	—

* 次のトンネルとの距離が短すぎるため、データが得られなかった。

** 測定時、先行の大型トラックに接近していた。ただし 0~130 m では注視時間が 61 % に増加した。

200 m 以内の区間で得られたデータに対して、計算されている。

表 2 から明かなように、天王山トンネルで得られた注視時間率は、他のトンネルと比べて比較的低いが、これは前方に先行車があったためである。また、連続するトンネルとの間の距離が近すぎ、トンネル入口が見えなかったので、梶原第 2 トンネルの 150 m 区間と、梶原第 2 トンネルおよび大津トンネルの 200 m 区間に対するデータは得られなかった。

これらのデータは、もし先行車がなければ、トンネル入口から 150 m 以内において運転者は、視線の大部分観測時間の約 80 %) を、トンネル入口に集中していることを示している。

3.2.2 観測 2 B によるデータの解析

ビデオテープ上に記録された道路の風景を分析した。60 コマ/秒の走査速度でビデオテープに記録され、テレビジョンの映像面の上に再生された道路の風景の中のアイマークの位置を注意深く観察し分析した。データは静的に分析をするため、ビデオテープレコーダを各コマごとに順番に静止させるよう駆動した。

分析の結果、次のような結果を得た。

(a) アイマークが、ある点に停留する最小時間は 0.1 ~ 0.2 秒である。

(b) しかしながら、ある場合にはアイマークはまばたきの間 (0.1 ~ 0.2 秒) を除いて、道路の風景のある場所に比較的に長い時間 (0.5 秒以上) 停留する傾向を示す。アイマークが比較的に長時間停留した場所は、主としてトンネル入口、その周辺、路面、バックミラー、自動車の中の計器盤および前方にある他の車両であった。アイマークが、これらに継続的に停留するコマ数を別々にかつ順番に数え、七つのトンネルごとに示したのが図 8 である。図中の距離は、観測バスの速度 (約 70 km/h、すなわち 19.4 m/sec の速度で走行)、ビデオテープレコーダの走査速度、および分析したコマ数から計算したものである。

接近中の各場所に対する注視時間率は、それぞれ別個

* 運転者がトンネルに接近中のちる区間内、その区間を進行するに要する時間中に、特定の対象 (たとえばトンネル) を注視している時間の割合。

図8 ヴィデオテープに記録された視野内各部への注視時間

Fig. 8 Analysis of eye movements during approach recorded on video-tape for each of the seven tunnels observed.

に、ある特定の場所に対する累積注視時間 (t_1)* と、分析に含まれた全部の観測時間 (t_2) との比、($t_1/t_2 \times 100\%$) として計算した。ただし、まばたきのための時間は除外した。

表3 各道路区間におけるトンネル注視時間率 (%) (観測2 B)

トンネル名	道路区間 (トンネル入口からの距離)				
	0~100m	0~150m	0~200m	0~250m	0~300m
大和トンネル	83.6	68.5	69.3	61.4	60.6
都夫良野トンネル	89.5	83.5	82.0	77.4	—
薩埵トンネル	89.0	92.7	88.7	86.3	—
興津トンネル	80.6	75.9	69.5	—	—
清見寺トンネル	77.4	79.0	72.3	—	—
小坂トンネル	87.3	83.6	79.0	78.3	—
袖師トンネル	86.6	91.1	81.4	81.1	78.7
平均	84.9	82.0	77.5	76.9	69.7

表3に、運転者が10のうちの七つのトンネルの入口に対して視線を集中している注視時間率 (%) を示す。他の3トンネルについては、先行車が非常に近接して走行しており、トンネル入口の主要部分をさえぎっていたために、データは得られなかった。

表3の範囲0~100 m, 0~150 mなどは、注視時間率

を計算した野外道路のトンネル入口からの長さを示している (以下、これを道路区間という)。表3から、平均注視時間は、道路区間0~300 mの約70%から、0~100 mの約85%に漸増することが明らかである。

このことは、運転者がひとたびその視線をトンネル入口に集中しはじめると、トンネルに接近する間、比較的定常的にその視線をトンネル入口に集中しつづけていることを意味する。また、運転者は道路区間0~150 m以内を走行するときは、その時間の約85%をトンネル入口に視線を集中しているように思われる。これらの分析は、観測2 Bによって得られた結果が、観測2 Aのそれと良く一致することを示す。

3.2.3 照明シミュレータを用いた観測者の目の運動

アイマークレコーダを用いて、日本の勧告の基礎となっている照明シミュレータによる実験における、観測者の目の運動を記録し分析した。その結果、すべての観測者が、各観測の間横造されたトンネルの入口に対して、まばたきの間を除いて、その視線を継続的に集中していることが明らかとなった。

3.3 結果のまとめ

実際の運転状態、および交通状態における2種類の観測によって、トンネル入口に接近しつつある運転者の目の運動を調査した。

最初の直接観測は、運転者が87%の確率で (すなわち100回のうち87回は)、たとえ前方近距离に他の自動車があるときでも、トンネル入口から150 m以上の距離から、前方のトンネル入口にその視察を集中しはじめる (と信じている) ことを明らかにした。

第2の観測において、アイマークレコーダによって記録された昼間時のトンネル入口に接近しつつある運転者の目の運動を分析した結果、

(a) 運転者は、もし他の自動車がなければ、道路範囲0~150 m以内で、その時間の約80%をトンネル入口に視線を集中する。

(b) 七つのトンネルにおいて、得られたデータから計算した平均注視時間は、道路区間0~300 mの約70%から道路区間0~100 mの約85%まで漸増する。

(c) 運転者は、ひとたび前方トンネル入口に視線を集中しはじめると、接近の期間中、これを維持しつづける

(d) ある場所に、アイマークが停留する最小時間は、0.1~0.2秒である

などが明確になった。

さらに、研究室内の照明シミュレータによる観測者の目の運動を分析し、実際の運転条件および交通条件におけるそれと比較した。その結果、照明シミュレータは、野外道路上の150 m、または200 m (2.2参照) の距離から、トンネル入口に視線を集中しはじめる運転者の実際

* “ある特定の場所に対する累積注視時間”とは、ある分析の対象となった時間内に、運転者がある特定の場所 (たとえばトンネル) に、何回か断続的に注視した時間をまとめて累積したものである。

の目の運動をよく再現していることが、明らかになった。

これらの観測の結果から、日本の勧告の中で仮定された注視開始点の概念および 150 m の注視開始点は、“適当で現実的”なものであると結論することができる。しかしながら、成定などによって用いられた視標の提示時間の 0.5 秒は、このような条件下における知覚に関しては長すぎるかも知れない。適切な視標露出時間は Schreuder⁴⁾ が用いたように約 0.1 秒とすべきである。

4. 結 言

注視開始点は、順応開始点が CIE の勧告の基礎であるように、日本の勧告の基本的概念であることを明らかにするとともに、日本の勧告で仮定されているように、成定によって定義づけられた注視開始点は、2 種類の実験より、トンネル入口から少なくとも 150 m のところにあることが明らかとなった。

最後に、この研究にご協力いただいた松下電器照明研究所の関係各位に深い感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- (1) Schreuder, D. A. : Light. Res. Tech. 3 (1971) 274
成定康平訳 : 照学誌 56-4 (昭47)
- (2) 高速道路調査会 : トンネル照明設計指針 (昭45)
- (3) CIE : トンネル照明国際勧告 Publication No. 26 (1974)
- (4) Schreuder, D. A. : Lighting of vehicular traffic

- tunnels, 119, Centrex, Eindhoven (1964)
- (5) 中道, 成定, 吉川 : 照学誌 51-10 (昭42)
吉川, 成定, 田辺 : National Tech. Rep. 13-1 (昭42)
- (6) Narisada, K. : Highway research circular No. 137, 9 (1972)
成定康平 : 照学誌 56-4 (昭47)
成定, 吉川, 田辺 : National Tech. Rep. 14-1 (昭43)
- (7) Waldram, J. M. : Light. Ltg. 49 (1956) 51
- (8) Brass, J. R., Skootsky, H., and Trosper, G. A. : Illum. Engng 52 (1957) 137
- (9) Reid, K. M., and Chanon, H. J. : Illum Engng 35 (1940) 276
- (10) Mourant, R. R., and Rockwell, T. H. : Paper No. 700397, FISITA Congress, Brussels (1970)
- (11) Zell, J. K. : Technical Report IE-16, Driving Research Laboratory, Ohio State University (1969-6)
- (12) 渡部 毅 : NHK 技術研究報告 17 (昭 49)
- (13) Mackworth, J. F., and Mackworth, N. H. : J. Opt. Soc. Amer. 48 (1958) 439
- (14) Forbes, T. W. (Ed) : Human factors in highway safety research, 419, Wiley, New York (1972)

(受付 1974 年 7 月 4 日)

×

×

×

×

×

×

5 月 号 掲 載 予 定 目 次

論 文	○水銀ランプ点灯回路シミュレーションによる解析
資 料	○面積比法と光束比法による球帯倍数の計算
○中間赤外域における海面放射の角膜依存性
照 明 教 室	○測光器用電子回路 (2) —演算増幅器の応用
(その 2) —
委員会報告	○原子炉用大型水槽作業照明改善研究委員会報告

その他