

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

Visibility of Illuminated Delineator during Fog in the Daytime

萩原 亨* ロベルト トクナガ** 小野寺 雄輝*** 今津 隆二****

By Toru HAGIWARA, Robert TOKUNAGA, Yuki ONODERA, Ryuji IMAZU

1. はじめに

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。十分な輝度差となっているかどうかの判定は、限界コントラスト¹⁾あるいは輝度弁別閾²⁾を利用することから可能となる。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。本研究では、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。

2. 測定方法

(1) 観測場所と観測日時

観測場所は、国道 274 号線 165 キロポスト付近にある国道管理事務所の駐車場とした。商用電源が使えること、一般車の進入が規制されている場所であること、霧が多発することが、場所を選択した主な理由である。図 1 は、観測場所の平面図である。観測は、1998 年 6 月 26 日から同年 8 月 7 日まで実施

キーワード：交通安全、交通情報

*正員、工博、北海道大学大学院・都市環境工学専攻、助教授

**学生員、北海道大学大学院・都市環境工学専攻

***正員、北海道大学大学院・都市環境工学専攻、技官

****、積水樹脂(株)、道路都市環境カンパニー、室長

(〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目、TEL/FAX 011-706-6214)

した。霧の発生頻度、観測施設の不備、外部からの車両の進入によるトラブル等のためデータ収集は不十分な状況が多かった。本報告では、このようなトラブルが少なく、かつ霧の発生が多い 1 週間となった 1998 年 7 月 31 日から 8 月 7 日にかけてのデータのみを利用して解析を行った。

(2) 測定対象

図 1 は、測定対象の配置を示している。LED を用いた灯器は発光が一律ではなく輝度の測定は難しい。しかし、霧中では通常時よりも均一な輝度なることが期待できることから、測定可能と考えた。背景として 3 枚の黒板 (100cm x 100cm) を用意した。

(3) 測定

輝度計と記録装置は、図 1 に示す車両に搭載した。ヘッドライトは常時点灯とし、ワイパーを約 30 秒間隔で動かした。照度計は灯器の近辺に設置し、透過型視程計は、輝度計と測定対象物間を測定できる位置に設置した。ノートパソコンに搭載したソフトによって、灯器の制御及び輝度測定データ記録を行った。

表 1 照度と透過率による観測度数一覧表(昼間のみ)

透過率 (30m) の範囲	照度(lx)の範囲								合計
	50000 /2500	25000 /1000	1000 0/50	5000 /250	2500 /100	100 0/5	500 /	250 /	
0.0/0.1	0	6	34	29	4	1	0	0	74
0.1/0.2	1	24	162	106	21	7	9	3	333
0.2/0.3	8	42	167	88	21	1	4	8	339
0.3/0.4	19	50	323	287	34	22	18	11	764
0.4/0.5	13	63	377	318	101	49	33	11	965
0.5/0.6	14	60	207	155	52	48	16	7	559
0.6/0.7	3	27	132	82	22	10	3	9	288
0.7/0.8	3	45	111	50	11	0	0	3	223
0.8/0.9	11	46	157	166	32	15	7	4	438
0.9/1.0	128	48	100	144	24	0	0	0	444
Total	200	411	1770	1425	322	153	90	56	4427

注意: 表中の数値は、観測度数を表す。

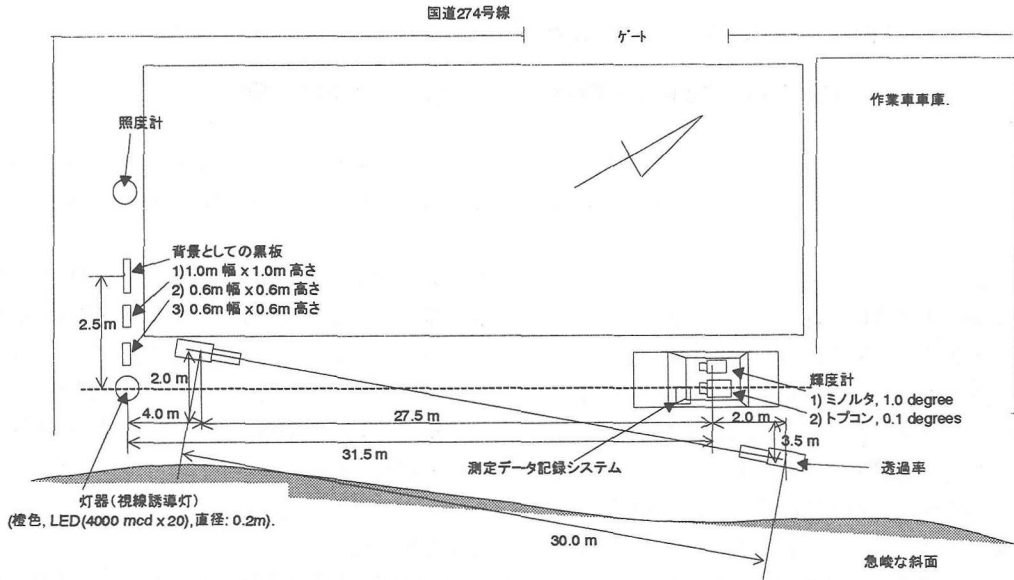


図1 観測場所 (国道 274 号線、日勝峠、165 キロポスト付近)

た。一方、透過型視程計と照度計はデータロガーを用いた。測定開始時に両者の時刻を合わせることで両者の同期を実現した。図2は、1998年8月4日12時30分前後における背景輝度・灯器輝度・照度・透過率の変化を記録した例である。透過率が低いとき、灯器輝度と背景輝度の差が小さくなっていることが分かる。透過率が高くなるに従って、灯器輝度と照度は高くなった。一方、背景輝度は同じような値となった。

3. 測定結果

(1) 霧の発生頻度 (透過率)

表1は、1週間において観測された霧の透過率の構成を昼間と夜間に分けて集計した結果である。今後示す透過率は、全て観測距離30.0mのときの値である。昼間のデータは、全ての測定データから照度100 lx以上を条件として選択した。総データ数は、4427個であった。また、夜間は午後20時30分から午前2時30分とし、ワイパーによる影響と思われるデータを除いた。総データ数は、1721個となった。昼間のデータについては、透過率と照度のレンジを決めて頻度分布を求めた。透過率0.2以下の頻度が夜間において7.8%、昼間において9.2%あった。昼間の霧発生時の照度領域(1000 lx~10000 lx)において、低透過率から高透過率のデータが存在しており、観測条件として網羅的なデータ構成と言えた。

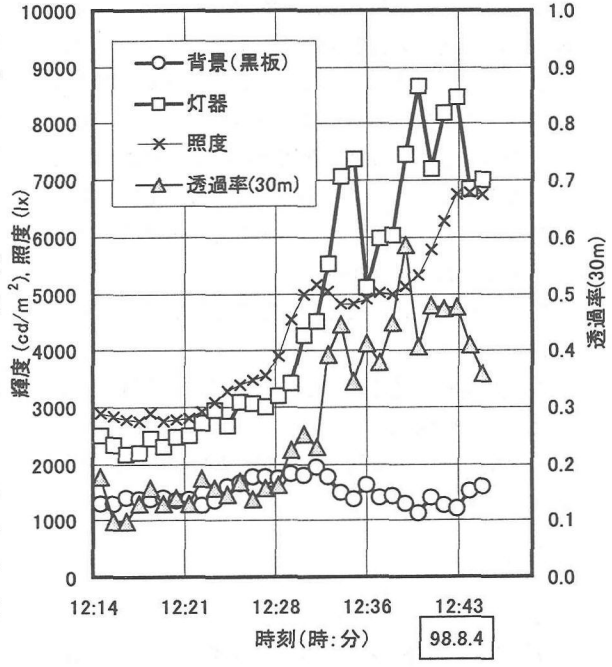


図2 観測データの一例 (98.8.4)

(2) 背景輝度と照度と透過率

(a) 夜間

夜間の背景輝度値は、どの透過率においてもほぼ一定となり、その平均値は0.4 cd/m²であった。透過率0.7から0.8のとき0.4 cd/m²よりも明るい輝度値となった。2.5 m横で発光している灯器の散乱光による影響と言えよう。

(b) 昼間

昼間の背景輝度は、透過率が小さくなるにつれて輝度の上昇がする一方、照度が明るくなるに従って明るくなる傾向を示した。このような、背景輝度と透過率及び照度との関係を重回帰式によってモデル化した。表2に回帰結果を示す。時刻は太陽の位置を代替する変数として用いた。説明変数のt値はいずれも大きく要因として用いることが可能であった。重回帰係数は0.952であり、説明力の高いモデルと言えた。推定結果と測定結果の関係は、歪みがなく誤差が中央の直線を境にほぼ左右均等に散らばった状況となった。

(3) 視線誘導灯の輝度

(a) 夜間

夜間における視線誘導灯の輝度は、透過率の低下に伴って直線的に低下したが、若干の偏りが見られた。そこで、透過率と灯器輝度の関係を3次式によって回帰した。回帰の結果を表2に示す。回帰式による推定輝度と観測輝度の関係は、直線となった。

(b) 昼間

昼間の灯器輝度は、霧による透過率の減少と霧そのものの輝度による影響が輻射するものと考えられる。実際、夜間のように透過率に比例して輝度が低くならない現象が、観測データに見受けられた。昼間において霧が濃くなるにつれて灯器の輝度が低下しない理由として、霧による明るさが灯器自体の明るさに加わるためと考えられる。そこで、昼間の視線誘導灯の輝度は、視線誘導灯の輝度に背景輝度(霧の輝度)が加わったものと仮定し、昼間の灯器の輝度を推定した。以下に推定式を示す。

$$y = (-24135 \times x_3^3 + 35731 \times x_3^2 + 3029.5 \times x_3) + 10(0.199861 - 1.43631 \times x_1 + 0.002169 \times x_2 + 0.898566 \times x_3) \quad (1)$$

y:昼間の灯器輝度、x1:時刻、x2:照度、x3:透過率
灯器自体の輝度は、夜間における透過率と輝度の関係を用いた。照度が全くない状況における灯器のみの輝度である。霧の輝度は、昼間の背景輝度を用いた。背景輝度を求めた背景と灯器の背景は異なる反射率を持っているかもしれないが、その差は小さいと仮定した。図3は、推定値と測定値の関係を示している。誤差の分布もほぼ均等であり、歪みのない関係となった。

表2 夜間の灯器輝度と昼間の背景輝度の回帰結果

夜間の灯器輝度の回帰式(相関係数:0.952)

$$y = -24135 \times x_3^3 + 35731 \times x_3^2 + 3029.5 \times x_3$$

y:輝度(cd/m²), x3:透過率(30m)

昼間の背景(黒板)輝度の重回帰式(重相関係数:0.952)

$$y = 0.199861 - 1.43631 \times x_1 + 0.002169 \times x_2 + 0.898566 \times x_3$$

y:輝度(log, cd/m²), x1:時刻(log, lx), x2:照度(log, lx), x3:透過率(30m)

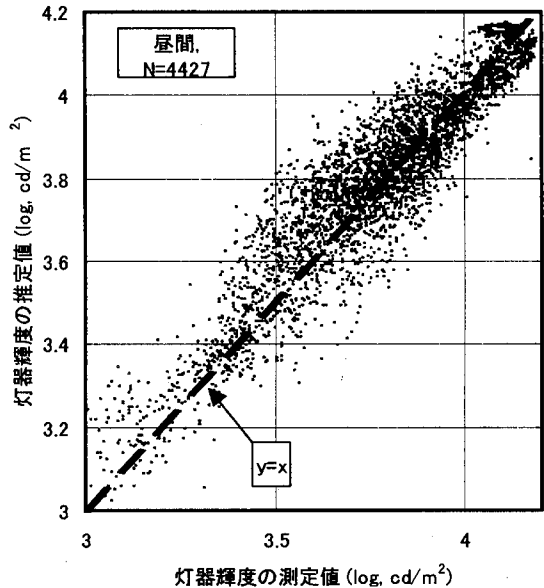


図3 昼間の灯器輝度の測定値と推定値の関係

4. 昼間の霧における灯器の視認性シミュレーション

(1) Visibility Level (VL)による灯器の視認性評価

昼間の霧における背景輝度と灯器輝度をこれまでの結果から、照度・視程・観測距離を変えてシミュレーションした。シミュレーション時刻は、13時とした。霧を表す指標としてシミュレーションでは、透過率の替わりとして視程を用いた。シミュレーション結果から、灯器のコントラストを求めた。また、背景輝度を順応輝度とみなし、Blackwellの限界コントラスト²⁾を求め、視認性を評価する指標として(2)式からVisibility Level (VL)を求めた。

VL=灯器のコントラスト/限界コントラスト (2)
VLは順応輝度のファクタを含むことから、視認性評価時にてコントラストよりも変数を一つ減らせるメリットがある。

(2) 霧中における灯器のVL値

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3は、各々の計算条件におけるVLを一覧にまとめた結果である。VLが1未満となった場合を表3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。灰色あるいは斜線で覆われた領域は、観測距離30mにおいて視程が50mで照度が5000lx以上となった。観測距離50mでは該当する領域が広がり、視程50m・照度250lx以上と視程100m照度10000lx以上であった。さらに観測距離が100mと長くなったとき、覆われた領域は、視程50mと100mのほぼ全ての明るさ、そして視程200m・照度5000lx以上の領域に広がるのが表3から読み取れる。以上から、観測に用いた灯器は、屋間の濃い霧において高い視認性を得ることは難しく、線形を示すためには短い設置間隔とする必要があると言えた。また、灯器の輝度を現在より10倍あるいは100倍とした場合のVLについて示している。50m前後の視程かつ10000lx前後の明るさとなる状況において、50m前方の灯器を運転者が容易に視認できる条件として、現在の灯器より10倍以上の輝度が必要といえた。

5. まとめと今後の課題

長時間に渡る観測から、透過率及び照度の様々な状況下における灯器の輝度を測定でき、その視認性と環境の関係を詳細に示した。具体的には、灯器に関する屋間の霧における背景輝度を、照度・時刻・透過率から推定するモデルを提案した。また、灯器輝度についても同様であり、霧における夜間の輝度は透過率から、屋間の輝度は背景輝度と灯器自体の輝度の和とするモデルにより推定できることを示した。ただし、霧中における輝度は、複雑であり非線形的な現象と言えた。今後、推定精度を高めるためニューラルネットワークなどを使うことは有益と言えよう。また、本研究で議論してきた結果は、汎用性がある部分とない部分がある。輝度推定プロセスは汎用性があると言えるが、推定されたパラメータは、測定場所によって異なる。霧対策が必要な箇所別に、同様なデータを観測し、視線誘導施設として必要十分な条件とは何かを導くことが必要である。

表3 屋間の霧における灯器のVisibility Level(VL)

		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		
	500	72.0	882.1	4633.0	13992.3		
	1000	38.6	478.8	2524.2	7964.1		
	2500	17.0	210.2	1121.2	3591.9		
	5000	9.1	112.7	601.4	1949.7		
30 (m)	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		
500		5.1	108.0	1033.7	5638.3		
1000		2.7	58.8	574.9	3303.2		
2500		1.2	25.8	256.0	1515.7		
5000		0.6	13.8	137.3	822.4		
50 (m)	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		
500		0.0	2.6	57.1	888.8		
1000		0.0	1.3	32.7	484.6		
2500		0.0	0.7	14.3	248.4		
5000		0.0	0.4	7.7	133.2		
100 (m)	10000	0.0	0.2	4.1	71.5		
	25000	0.0	0.1	1.8	31.4		
	50000	0.0	0.0	1.0	16.8		

注) 表中の数値はVisibility Level(VL)を表す。

更に、これらのモデルを使うことから屋間の霧における灯器の視認性について踏み込んだ議論を行い視線誘導施設の必要十分条件を検討した。屋間の霧の明るさに対抗することはかなり難しく、屋間でも視認性が高い灯器は10⁻⁵(cd/m²)以上の輝度が必要となることを示せた。おそらく、屋間の霧における視線誘導施設としてこのような高輝度施設を検討することは不合理であり、路側の樹木が見易い経験からも明らかなように暗くするあるいは背景より暗い輝度を持った施設を配置することが対策として検討する価値があると言えた。一方、運転者から近いところからの発光(例えば道路鏡)等による工夫も必要であろう。

参考文献

1. Blackwell, H.R., Contrast Thresholds of the Human Eye, J.O.S.A., Vol.36, No.11, 1946
2. 色彩科学ハンドブック(第2版)、日本色彩学会、1998