視方向に対する標識の水平角が煙中の視認距離に与える影響

誘導灯及び案内標識の視認性

THE EFFECT ON ACUTE YAW ANGLES WITH VIEW DIRECTION THROUGH FIRE SMOKE

- Visibility of the emergency sign and the direction sign -

藤井 皓介*, 佐野 友紀**, 大宮 喜文***

Kosuke FUJII, Tomonori SANO and Yoshifumi OHMIYA

Two experiments on the visibility of a direction sign and three emergency signs through fire smoke were carried out with subjects. In Japanese railway stations, direction signs, which are prescribed by rules of each railway company, and Emergency signs, which are prescribed by Fire Services Act, are installed. The emergency signs used in the experiments are an evacuation exit sign and two evacuation route signs. Smoke density, type of signs and yaw angles of the sign were changed in the experiments. Twenty subjects aged twenties were participated in the experiments. All subjects have normal sight. The experiments are planned with “Design of Experiment”. As a result of statistical analysis with regression analysis, relational expressions of each sign about the visible distance, smoke density and yaw angles were derived.

Keywords : Station, Evacuation, Smoke, Sign, Emergency Sign, Visibility

駅, 避難, 煙, 標識, 誘導灯, 視認性

1. 序論

1.1 研究背景

鉄道駅は運輸施設であるため、平常時の多数の利用者の移動を主目的として計画されているが、利用者の非常時における動線計画は平常時と異なる場合があり、非常時に配慮して避難経路を提示し、利用者を適切に誘導することは必要不可欠である。避難経路の提示方法については消防法により誘導灯^{注1)}及び誘導標識が規定されている。また、駅特有の経路表示設備として日常的に出口・経路を示す案内標識が鉄道駅の基準に従い設置されている。両者はそれぞれの基準で設置されているが、ともに出口方向を示すものであり、利用者の避難経路選択に影響を与える可能性が考えられる。建築物として避難経路選択に影響を与える可能性の高い誘導灯・案内標識の影響を考慮した避難誘導が必要となる。

鉄道駅構内の誘導灯は、日常利用目的である案内標識と互いに視認を阻害しない形で設置されている^{注2)}。ただし、大規模鉄道駅のコンコースや通路では幅員が広いため、利用者の位置によって通路の端から斜め正面方向誘導灯を見る場合や、狭い連絡通路等の側壁面に設置された通路誘導灯を通路中央から見る場合には、避難者は表示面に対して斜めから確認する場合が生じる。避難者が視認する角度により誘導灯の見え方は異なるため、視認する角度を考慮して設置することが望ましいが、視方向に対する誘導灯の水平角が視認距離に与える影響に関する知見は少ない。

また、誘導灯の設置については、煙中において利用される可能性があるため、煙中における誘導灯の使用を考慮する必要がある。

1.2 既往研究

煙中における誘導標識及び誘導灯の視認距離に関する研究として、神¹⁾は、白黒標識を用いて異なる建材により発生する煙中における標識の見透し距離の比較を行い、反射型標識と発光型標識のそれぞれについて減光係数と見透し距離の積が一定範囲内にあることを明らかにしている。上記関連研究として、神²⁾は、標識の場所の事前把握の有無が標識の輝度と標識の探索時間との関係を明らかにするとともに、刺激性煙の白煙と無刺激性煙の黒煙中における避難口誘導灯の視認限界、色の識別限界、文字の判読限界それぞれの見透し距離と煙濃度との関係を明らかにしている。神³⁾は、各種建材について赤色と青色光を発する2種の標識の見透し距離を比較し、赤色光の方が青色光に比べて見透し距離が大きいことを明らかにしている。同種研究として、山田ら⁴⁾は、白煙中における新旧誘導灯の見透し距離の比較を行い、新型B級誘導灯は旧型誘導灯に比べて効果が高いことを明らかにしている。視認距離に限らず、誘導灯及び誘導標識に関する研究が行われている。森山ら⁵⁾は、大規模地下街において通常照明、通路誘導灯、避難口誘導灯、店舗広告を変更して避難経路選択実験を行い、誘導灯の理解の不足が避難出口の素通り及び避難経路の長距離化に繋がることを示し、誘導灯を強調することの必要性を述べている。田中ら⁶⁾は、質問紙及びコンピュータを用いた被験者実験により、避難出口通過後の情報を付加した避難口誘導灯の単独避難者に対する効果について検証している。横石ら⁷⁾は、健常者とインスタントシニアによる被験者実験により高輝度蓄光式誘導標識設置下における避難時間及び避難時の安心感、経路の

* 早稲田大学大学院人間科学研究科
博士後期課程・修士(人間科学)

** 早稲田大学人間科学学術院 准教授・博士(工学)

*** 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)

Graduate School of Human Sciences, Waseda University, M.A. in Human Sciences

Faculty of Human Sciences, Waseda University, Dr. Eng.

Dept. of Architecture, Faculty of Science & Technology, Tokyo University of Science, Dr. Eng.

実験条件：実験条件は、以下の通りとする。

i)減光計の位置 (図 1, 2)

減光計の位置は、被験者の標識視認時における視線上の煙の濃度を測定することを目的として設置した。高さは、目線及び誘導灯の設置高さとなる天井付近とし、水平方向はスタート地点、中央付近、誘導灯正面直近とした^{注5)}。1 回目は標識近傍に多数、2 回目は 1 回目の結果をもとに必要数とした。

ii)煙の種類 (表 1)

本実験では、倫理上の観点から人体に対する影響の少ない白煙のみを使用した。各種建材により発生する煙は、刺激や臭いの点で人体への侵襲が大きい。このことから、火災訓練の煙体験で用いられるスモーク液 (ロスコ社製 スモーク液スタンダード) を気化させた白煙を用いることとした。

iii)煙の濃度

各実験において設定した煙の濃度は以下の通りである。
実験 1「レベル 1(Cs=0.7)/ レベル 2(Cs=1.1)/ レベル 3(Cs=1.5)」
実験 2「レベル 1(Cs=0.7)/ レベル 2(Cs=1.1)/ レベル 3(Cs=1.75) / レベル 4 (Cs=2.5)」

なお、() 内は濃度調整時に目標とする減光係数[1/m²]を示す。
iv)天井照明「白色蛍光灯 (平均床面照度=114lx)」^{注6)} (図 1, 2)。

20w 蛍光灯 2 本を壁から 2m 間隔で均等に配置している。なお、上記測定値は煙のない状態における値である。

v)標識の種類「通路誘導灯 (左方向) /通路誘導灯 (両方向) /避難口誘導灯/案内標識」^{注7)} (図 3,4)

誘導灯は、高輝度誘導灯 C 級を使用した。案内標識は、大規模鉄道駅の案内標識の表示面に記載されているピクトグラム及び文字の寸法を測定し、その比率を用いて表示面の縦幅を誘導灯に合わせ作成した。また、案内標識表示面の言語は日本語のみとした。

vi)標識の水平角 (表 2, 3, 図 5)

標識の水平角は以下の様に設定した。
実験 1「0° /30° /60° 」 実験 2「0° /60° /70° /80° 」

2.2 実験計画の作成

本実験における試行順序は、実験計画法の一部実施要因計画を用いて実験計画を行う。これにより、実験の効率化を図る。実験計画法の使用に際し、統計解析ソフトウェア JMP9 Pro (SAS 社製) を用い、最適化計画を実施する。

実験日をブロック因子とし、各実験日における被験者の無作為割り付け (完全無作為化法) を基本とする。しかしながら、この場合は標本として抽出した被験者毎の変動が考慮されない。被験者間要因しかない場合、データ数と被験者数が等しくなるため、被験者の効果は全水準の誤差に含まれる。被験者は視力に問題のない者を選定しているが、個人差が視認距離に影響を与える可能性を考慮し、被験者要因を設定し、被験者の個人差を水準として計画に含める。被験者要因と煙濃度、標識、水平角の各要因における 1 次の交互作用を考慮し、全要因について 2 要因間の交互作用項を設定する。他の要因における偶然誤差から、被験者の個人差と交互作用それぞれによる効果を想定し、被験者要因を他 3 要因と計画上交差させる。

被験者の負担及び標識の設置・煙濃度の調整・水平角の変更に必要な時間を考慮し、被験者の参加時間帯 (各 10 名)、標識、煙の濃

度、水平角の順に実験を分割する。被験者 1 名が各標識を確認する回数は標識 1 種類あたり 2~3 回とし、その内、水平角は回毎に異なる。これにより、被験者 1 名に対して標識と水平角の組み合わせが同一となる試行がなくなり、被験者の経験による効果が緩和される。

煙の大気中残存時間を考慮した攪拌のタイミングと実施体制等の情報を加えたものを実験のタイムテーブルとする。

2.3 減光係数の算出方法

減光計で測定される電圧を基に減光係数の算出を行い、煙濃度の数値化を行う。減光係数の算出は Lambert-Beer の法則により得られる式 $Cs = (1/d) \times \ln(I_0/I)$ に基づく (Cs : 減光係数[1/m]、 d : 減光計のレーザー投光面から受光面までの距離[m]、 I_0 : 基準電圧[V]、 I : 計測電圧[V])¹¹⁾。本実験では、 $I_0 = 5.0[V]$ 、 $d = 0.045[m]$ とする。

図 3 標識の種類

図 4 誘導灯及び案内標識の寸法

表 2 各実験における水平角の条件

	水平角				
	0°	30°	60°	70°	80°
実験1	○	○	○	—	—
実験2	○	—	○	○	○

表 3 水平角と視認する誘導灯表示面面積の関係

水平角[°]	0	30	60	70	80
誘導灯の正対面積[m ² × 10 ⁻²]*	1.690	1.460	0.845	0.578	0.293
0° に対する面積比	1.00	0.86	0.50	0.34	0.17

* 被験者が正対時に視認する誘導灯表示面の面積

図 5 標識水平角の回転角度 (俯瞰図)

3. 実験における煙濃度状態及び視認距離に対する個人差の把握

3.1 減光係数の分布傾向に基づく減光計の選定

実験において使用した減光計の内、計測結果に異常が生じたものを分析から除外する。除外は年度別に行い、減光係数の測定結果に基づき機器の異常により近傍の機器との測定値がいちじるしく異なるものを除外した。以降の分析に用いる減光計として、実験1は計7台、実験2は計11台を選定した。減光計は、標識から異なる水平距離間隔で3～4ヶ所に設置しているが、選定した減光計は水平距離上の各位置に設置されている。分散した場所で計測しており、ほぼ同様の値を示していることから、一様の煙の計測値としては妥当と言える。

3.2 視線にある減光係数の導出

実験1及び2のそれぞれについて、分析に用いる減光係数を導出した^{注8)}。実験空間内の煙は可能な限り一様となる様に攪拌をしたことから、計測不良により除外したものを除くすべての点について各減光計の計測値を平均化したものを、視線にある煙の減光係数の代表値とし、以降の分析に用いる。

3.3 被験者の個人差による影響の把握

視認距離に対する被験者の個人差の影響について検討を行う。被験者は変量因子として扱い、視力に問題のない集団から無作為抽出された者とした。実験計画段階では被験者の個人差を想定し、要因として設定した。被験者の単純主効果を調べるため、各実験日について、被験者に対する視認距離の分散分析に基づくF検定を行った結果、いずれの実験日においても有意水準5%における有意差は見られなかった。よって、以降の分析では個人差はないものとする。

4. 視認距離の予測式の導出

実験1及び実験2の結果それぞれについて、回帰式の導出を行う。導出にあたり、線形関係を確保するため水平角を正対面積（被験者が正対時に視認する標識表示面の面積）に換算して説明変数に用いる。水平角と正対面積の関係は $S_{ha} = S \cos \theta$ (S_{ha} : 正対面積[m²], S : 標識表示面の面積(内容記載部の方形面積)[m²], θ : 水平角[°]) で表される。

実験1と2では、水平角と濃度の条件が異なるため、結果を統合して分析した場合、視認距離・減光係数・正対面積の2変数の分布に影響を与え、相関係数及び回帰式の予測精度に影響を与える可能性がある。単一の年度について分析をした方が、分布に偏りがなくなり回帰モデルの形状を確実に把握できると考えられる。濃度と水平角の範囲が広い実験2の結果に基づき回帰モデルを決定し、実験1及び実験2の結果を統合したデータに基づき予測式を導出する。

予測式の導出手順として、①全変数を用いた重回帰分析（最小2乗法）、②変数選択、③回帰診断（データ診断、構造診断、モデル診断）^{注9)}を行う。②変数選択において、ステップワイズ法を用いる場合、変数増減法を用いて最小2乗法において用いた説明変数から有効な変数を選択して回帰式を求める。有効な変数の見落としを防ぐため、回帰係数の有意水準を25%とする。③回帰診断では、①と②で得られた回帰モデルの評価を行う。

4.1 回帰モデルの決定

4.1.1 変数間の相関

視認距離を減光係数、正対面積について標識毎に2変数毎の相関分析を行う。いずれの標識においても、視認距離と平均減光係数の間のみ無相関検定における有意確率が0.05未満、相関係数が-0.79以下となる。上記2変数間のみ相関が見られる（表4）。

4.1.2 直線回帰式の導出

各標識について、減光係数及び正対面積に対する視認距離の最小2乗法による直線回帰式を求める。交互作用項を含める場合と含めない場合について比較し、交互作用項の効果を検証する^{注10)}。

交互作用の有無に関わらず、有意水準5%において全標識について回帰式は統計的有意性を持ち、予測に役立つと言える。各標識の自由度調整済み決定係数の変化は、交互作用項の投入前と比較して最大0.01程度であり、交互作用項の投入による変化は少ない(表5)。

各標識について有意水準25%における交互作用項の統計的有意性は異なる。交互作用項の投入前後で主効果の有意確率に大きな変化は見られない。有意水準5%における統計的有意性は変化せず、標準化偏回帰係数の差も小さい。交互作用項の効果は小さいと言える。したがって、交互作用投入後において交互作用項を含めて全要因のVIFが1程度となり要因の独立性は高いと考えられるが、直線回帰において減光係数と正対面積間の交互作用は無視できる(表6)。

続いて、回帰診断を行う。モデル診断の残差分析より、各標識について減光係数に対するスチューデント化残差の散布図を見ると、-1次の曲線的な分布傾向が見られる。減光係数は-1次の項とすることで回帰式に対する当てはまりが良くなると考えられる。

この検討により、予測式は直線ではなく減光係数を-1次とする曲線($y = 1/x$)の式を用いることが適切であることが明らかとなった。

表4 各標識における2変数間の相関係数(実験2)

		視認距離[m]	減光係数[1/m]	正対面積[m ²]
通路誘導灯 (左方向)	視認距離[m]	1.000	-0.794*	0.010
	減光係数[1/m]	-0.794*	1.000	0.226
	正対面積[m ²]	0.010	0.226	1.000
通路誘導灯 (両方向)	視認距離[m]	1.000	-0.783*	0.012
	減光係数[1/m]	-0.783*	1.000	0.267
	正対面積[m ²]	0.012	0.267	1.000
避難口誘導灯	視認距離[m]	1.000	-0.764*	0.029
	減光係数[1/m]	-0.764*	1.000	0.245
	正対面積[m ²]	0.029	0.245	1.000
案内標識	視認距離[m]	1.000	-0.824*	0.093
	減光係数[1/m]	-0.824*	1.000	0.005
	正対面積[m ²]	0.093	0.005	1.000

* は有意水準5%で有意となることを示す

表5 交互作用項と直線回帰式の決定係数(実験2)

	交互作用項の有無	自由度調整決定係数	誤差の標準偏差(RMSE)	F値	有意確率
通路誘導灯 (左方向)	なし	0.655	1.466	49.431	<0.0001*
	あり	0.664	1.447	34.607	<0.0001*
通路誘導灯 (両方向)	なし	0.651	1.180	49.600	<0.0001*
	あり	0.645	1.190	32.557	<0.0001*
避難口誘導灯	なし	0.618	1.341	41.427	<0.0001*
	あり	0.617	1.342	27.883	<0.0001*
案内標識	なし	0.676	1.487	54.164	<0.0001*
	あり	0.679	1.481	36.923	<0.0001*

* は有意水準5%で有意となることを示す

4.1.3 曲線回帰式の導出

直線回帰式のモデル診断に基づき、減光係数の項を-1次とし、各標識について、減光係数及び正対面積に対する視認距離の最小2乗法による曲線回帰式を求める。直線回帰と同様に、交互作用項の有無が重回帰式に与える影響を検証する。

交互作用の有無に関わらず、有意水準5%において全標識について回帰式は統計的有意性を持ち、予測に役立つと言える。各標識の自由度調整済み決定係数の変化は、交互作用項の投入前と比較して最大0.02程度であり、交互作用項の投入による変化は少ない(表7)。

交互作用項は、案内標識のみ有意水準25%における有意性が認められない。交互作用項の投入前後で正対面積の有意確率が大きく変化する。交互作用投入前において正対面積は案内標識のみ25%水準で有意とはならず、他3標識では有意となる。交互作用投入後、正対面積の有意確率は全標識で上昇し、50%以上となる。減光係数については有意水準5%における統計的有意性は変化せず、標準化偏回帰係数の差も小さい。交互作用項の効果は小さいと言え、曲線回帰での減光係数と正対面積間の交互作用は除外する(表8)。

採択した回帰曲線について、回帰診断を行う。データ診断により視認距離の残差が誤差の標準偏差(RMSE)の2倍を超えるデータを外れ値とし、各データについて要因を把握した。濃度が薄い場合に視認限界以上に近づくことが要因と考えられるものについて、分析から除外した。構造診断により説明変数の選択を行ったところ、案内標識のみ正対面積の偏回帰係数が有意水準25%を満たさず、除外された。採択された重回帰モデルのVIFは全標識について1に近似し、多重共線性はないと言える(表9, 10)。モデル診断として、各標識の減光係数に対するスチューデント化残差の散布図を見ると、直線回帰と比較して減光係数に対する分布の傾向が解消されている。

この検討により、予測式は減光係数と正対面積の主効果のみを説明変数とすることが適切であることが明らかとなった。

表7 交互作用項と曲線回帰式の決定係数(実験2)

	交互作用項の有無	自由度調整決定係数	誤差の標準偏差(RMSE)	F値	有意確率
通路誘導灯(左方向)	なし	0.874	0.887	177.67	<0.0001*
	あり	0.894	0.812	144.695	<0.0001*
通路誘導灯(両方向)	なし	0.729	1.041	70.8087	<0.0001*
	あり	0.737	1.025	49.5715	<0.0001*
避難口誘導灯	なし	0.796	0.981	98.436	<0.0001*
	あり	0.806	0.956	70.1654	<0.0001*
案内標識	なし	0.896	0.843	220.399	<0.0001*
	あり	0.895	0.846	146.200	<0.0001*

*は有意水準5%で有意となることを示す

表8 交互作用項と曲線回帰式の偏回帰係数(実験2)

	交互作用の有無	項	偏回帰係数	標準化偏回帰係数	有意確率	VIF
通路誘導灯(左方向)	なし	逆数(減光係数[1/m])	4.639	0.964	<0.0001*	1.058
		正対面積[m ²]	115.281	0.236	<0.0001*	1.058
	あり	逆数(減光係数[1/m])	4.740	0.985	<0.0001*	1.078
		正対面積[m ²]	126.012	0.258	0.7099	1.08
		(逆数(減光係数[1/m]) - 0.99258) × (正対面積[m ²] - 0.00836)	144.716	0.149	0.0022*	1.033
通路誘導灯(両方向)	なし	逆数(減光係数[1/m])	3.897	0.873	<0.0001*	1.032
		正対面積[m ²]	62.302	0.166	0.0284*	1.032
	あり	逆数(減光係数[1/m])	3.845	0.862	<0.0001*	1.042
		正対面積[m ²]	69.670	0.185	0.6774	1.061
		(逆数(減光係数[1/m]) - 0.9497) × (正対面積[m ²] - 0.00836)	100.212	0.117	0.1139	1.046
避難口誘導灯	なし	逆数(減光係数[1/m])	3.467	0.915	<0.0001*	1.042
		正対面積[m ²]	88.586	0.212	0.0021*	1.042
	あり	逆数(減光係数[1/m])	3.479	0.918	<0.0001*	1.043
		正対面積[m ²]	92.547	0.222	0.9228	1.049
		(逆数(減光係数[1/m]) - 1.07465) × (正対面積[m ²] - 0.00873)	91.290	0.117	0.0686	1.007
案内標識	なし	逆数(減光係数[1/m])	5.621	0.946	<0.0001*	1.004
		正対面積[m ²]	7.142	0.031	0.501	1.004
	あり	逆数(減光係数[1/m])	5.616	0.945	<0.0001*	1.005
		正対面積[m ²]	7.247	0.031	0.6541	1.005
		(逆数(減光係数[1/m]) - 0.87652) × (正対面積[m ²] - 0.01815)	20.833	0.037	0.4137	1.001

*は有意水準5%で有意となることを示す

表9 回帰診断後の曲線回帰式の決定係数(実験2)

	自由度調整決定係数	誤差の標準偏差(RMSE)	F値	有意確率
通路誘導灯(左方向)	0.902	0.786	232.130	<0.0001*
通路誘導灯(両方向)	0.792	0.925	96.066	<0.0001*
避難口誘導灯	0.873	0.725	162.969	<0.0001*
案内標識	0.923	0.740	584.387	<0.0001*

*は有意水準5%で有意となることを示す

表10 回帰診断後の曲線回帰式の偏回帰係数(実験2)

	項	偏回帰係数	標準化偏回帰係数	有意確率	VIF
通路誘導灯(左方向)	逆数(減光係数[1/m])	4.735	0.975	<0.0001*	1.050
	正対面積[m ²]	105.088	0.213	<0.0001*	1.050
通路誘導灯(両方向)	逆数(減光係数[1/m])	4.094	0.906	<0.0001*	1.026
	正対面積[m ²]	54.573	0.144	0.0320*	1.026
避難口誘導灯	逆数(減光係数[1/m])	3.482	0.953	<0.0001*	1.034
	正対面積[m ²]	73.356	0.190	0.0008*	1.034
案内標識	逆数(減光係数[1/m])	5.812	0.961	<0.0001*	—

*は有意水準5%で有意となることを示す

表6 交互作用項と直線回帰式の偏回帰係数(実験2)

	交互作用の有無	項	偏回帰係数	標準化偏回帰係数	有意確率	VIF
通路誘導灯(左方向)	なし	減光係数[1/m]	-1.738	-0.839	<0.0001*	1.054
		正対面積[m ²]	97.651	0.200	0.0221*	1.054
	あり	減光係数[1/m]	-1.843	-0.890	<0.0001*	1.225
		正対面積[m ²]	94.847	0.194	0.0244*	1.056
		(減光係数[1/m] - 1.557) × (正対面積[m ²] - 0.0084)	47.955	0.134	0.1349	1.182
通路誘導灯(両方向)	なし	減光係数[1/m]	-1.825	-0.846	<0.0001*	1.077
		正対面積[m ²]	89.535	0.238	0.0072*	1.077
	あり	減光係数[1/m]	-1.859	-0.861	<0.0001*	1.308
		正対面積[m ²]	88.503	0.235	0.0086*	1.084
		(減光係数[1/m] - 1.447) × (正対面積[m ²] - 0.0084)	12.844	0.036	0.6977	1.26
避難口誘導灯	なし	減光係数[1/m]	-2.062	-0.820	<0.0001*	1.064
		正対面積[m ²]	95.688	0.229	0.0143*	1.064
	あり	減光係数[1/m]	-2.145	-0.853	<0.0001*	1.218
		正対面積[m ²]	96.300	0.231	0.0139*	1.064
		(減光係数[1/m] - 1.332) × (正対面積[m ²] - 0.0087)	41.149	0.090	0.3411	1.151
案内標識	なし	減光係数[1/m]	-2.402	-0.825	<0.0001*	1.000
		正対面積[m ²]	22.573	0.097	0.2295	1.000
	あり	減光係数[1/m]	-2.486	-0.853	<0.0001*	1.091
		正対面積[m ²]	22.346	0.096	0.2321	1.000
		(減光係数[1/m] - 1.544) × (正対面積[m ²] - 0.0182)	24.443	0.100	0.2345	1.091

*は有意水準5%で有意となることを示す

4.2 予測式の導出

本研究では、現場において使用される各誘導灯及び案内標識の一例について、それぞれの視認距離の予測式を導出する。これらの標識は既存かつ表示内容の変更が少ないものであることから、ピクトグラム、文字や矢印などの個別要素を取り扱うのではなく、一体としての視認距離を評価する。

4.2.1 変数間の相関

実験 1・2 のデータより視認距離、減光係数、正対面積について標識毎に 2 変数毎の相関分析を行う。全標識について視認距離と減光係数について、無相関検定における有意確率が 0.05 未満、相関係数が -0.67 以下となる。上記 2 変数間のみ相関が認められる(表 11)。

4.2.2 水平角と視認距離の関係

各標識について、正対面積(水平角)に対する視認距離の関係を把握する。ここでは、水平角の変化による視認距離の変化傾向を把握するため、スタート地点において視認した場合の視認距離の値(2011 年度: 10.5m、2012 年度: 11.5m)を分析に含めることとする。

同一濃度レベル下での視認距離の平均値より、いずれの標識も設定濃度が濃くなるに従って、水平角 0° から 80° に変化させた際の視認距離の低下が小さくなることを読み取れる。ただし、誘導灯についてはレベル 3 と 4 において、案内標識についてはレベル 4 において、水平角の変化に対する視認距離の減少は見られない。

誘導灯のレベル 1 と 2、案内標識のレベル 1~3 については水平角の増加に従って視認距離の減少が認められる。誘導灯については、通路誘導灯(左方向)及び通路誘導灯(両方向)のレベル 1、避難口誘導灯のレベル 1 と 2 において、案内標識ではレベル 1~3 において、近い水平角間の視認距離の差が大きく 1m 以上となる部分がある。案内標識のレベル 1 については、60° と 70° 及び 70° と 80° の間、レベル 2 及び 3 については 60° と 70° の間において視認距離に 1m 以上の差が認められる。通路誘導灯(左方向)のレベル 1 については、30° と 60° の間に、通路誘導灯(両方向)のレベル 1 については、30° と 60° 及び 70° と 80° の間に認められる。避難口誘導灯のレベル 1 については、60° と 70° の間に、レベル 2 については 30° と 60° 及び 70° と 80° の間に認められる。

濃度が低い程、水平角の増加に伴う視認距離の減少が大きくなり、濃度が高くなると水平角による視認距離の減少は見られなくなる。特に誘導灯については、水平角が高くなるに従って、濃度間における視認距離の差は小さくなる。視認距離、減光係数、正対面積(水平角)を 2 変数間の関係で見た場合、減光係数と視認距離のみ相関が認められるが、視認距離と水平角を濃度で分けた場合、濃度が低い程両者の関係性が認められる。水平角と視認距離の関係に減光係数が、減光係数と視認距離の関係に水平角が影響を与えている可能性が考えられるが、水平角と減光係数には事象としての関係性はなく、回帰モデルの検討より交互作用項の効果は除外される。よって視認距離に対して減光係数と正対面積(水平角)が独立して影響を与えていると言える。

表 11 各標識における 2 変数間の相関係数(2 実験統合)

		視認距離[m]	減光係数[1/m]	正対面積[m ²]
通路誘導灯 (左方向)	視認距離[m]	1.000	-0.73*	0.135
	減光係数[1/m]	-0.73*	1.000	0.127
	正対面積[m ²]	0.135	0.127	1.000
通路誘導灯 (両方向)	視認距離[m]	1.000	-0.673*	0.110
	減光係数[1/m]	-0.673*	1.000	0.299*
	正対面積[m ²]	0.110	0.299*	1.000
避難口誘導灯	視認距離[m]	1.000	-0.697*	0.116
	減光係数[1/m]	-0.697*	1.000	0.244*
	正対面積[m ²]	0.116	0.244*	1.000
案内標識	視認距離[m]	1.000	-0.765*	0.204
	減光係数[1/m]	-0.765*	1.000	-0.008
	正対面積[m ²]	0.204	-0.008	1.000

* は有意水準5%で有意となることを示す

図 6 濃度条件毎の水平角と視認距離の関係(2 実験統合)

4.2.3 予測式の導出

実験1及び実験2の実験結果を統合し、予測式の導出を行う。実験2の実験結果に基づき導出した重回帰式より、求める予測式の回帰モデルを決定した。各標識について、減光係数及び正対面積に対する視認距離の最小2乗法による曲線回帰式を求める。説明変数を減光係数と正対面積の2変数とし、減光係数を1次の項とする。

全標識について決定係数は有意水準5%における統計的有意性を持ち、予測に役立つと言える。自由度調整済み決定係数が0.5以上となり、回帰式の精度はある程度認められる(表12)。

全標識について、減光係数及び正対面積の偏回帰係数に対する有意確率は5%未満となり、25%水準及び5%水準のいずれについても統計的有意性を持つ。標準化偏回帰係数において減光係数が正対面積の2~4倍となり、実験2の最終モデルにおける4~7倍に対して正対面積の回帰式に対する影響が大きくなる(表13)。

以上の回帰式について、回帰診断を行う。データ診断により視認距離の残差が誤差の標準偏差(RMSE)の2倍を超えるデータを外れ値とし、各データについて要因を把握した。濃度が薄い場合に視認限界以上に近づくことが要因と考えられるものについて、分析から除外した。構造診断において、採択された重回帰モデルのVIFは全標識について1に近似し多重共線性はないと言える(表14,15)。モデル診断の残差分析より、各標識について2説明変数に対するスチューデント化残差の散布図において、分布に傾向は見られない。

各標識について正対面積と減光係数に基づく視認距離の予測式を以下に示す(L:視認距離[m], Cs:減光係数[1/m], S_{ha}(=S cos θ):正対面積[m²], S:標識表示面の面積(内容記載部の方形面積)[m²], θ:水平角[°]) (表15)。

通路誘導灯(左方向): $L = -0.81 + 4.38/Cs + 142.00 \cdot S_{ha}$ ・・・式(1)
通路誘導灯(両方向): $L = -0.07 + 3.78/Cs + 114.61 \cdot S_{ha}$ ・・・式(2)
避難口誘導灯: $L = -0.59 + 3.68/Cs + 137.19 \cdot S_{ha}$ ・・・式(3)
案内標識: $L = -0.97 + 5.38/Cs + 50.61 \cdot S_{ha}$ ・・・式(4)

上式は正対時の面積S_{ha}を水平角θと標識表示面の面積Sに分解できる($S_{ha} = S \cos \theta$)。これにより、表示面の面積と水平角の代入により視認距離を求めることができる。また、水平角の回転時に表示面の縦幅は一定値である。縦幅を定数として予測式の傾き(偏回帰係数)に含めることで右辺の単位系が[m]で統一され左辺と一致する。

各標識における減光係数と視認距離の関係と水平角を固定した予測式を0°、60°、80°について示す(図7)。予測式から、水平角度が大きくなるに従い、視認距離が長くなる傾向が見て取れる。

5. 結論

5.1 考察

本報で導出した予測式(1)~(4)は、条件を限定した実験に基づくものである。予測式は、実験条件である減光係数0.7~2.5[1/m]及び水平角0°~80°の範囲で得たものであり、当該範囲における信頼性が最も高いと考えられる。しかしながら、避難計画に適用するに当たり、減光係数について、より大きな範囲で適応できること及び実際の状況と対応した数値と関連づけて把握することが望ましい。予測式の適応範囲について以下に述べる。

5.1.1 減光係数の下限値

予測式(1)~(4)については、煙の濃度による視認性への影響を減光係数の項により説明している。表示内容の視認には距離によるもの、すなわち視力の限界により視認できなくなる要因と、煙の障害により視認できなくなる要因が考えられる。本予測式は、この視力による距離の限界を超えない範囲内で行った実験に基づき導出しているため、視力限界については反映していない。

本研究に先立ち、誘導灯及び案内標識の予備的な実験により無煙時(=0[1/m])において水平角を0°~80°とした時に、消防法において避難口誘導灯の設置限界距離として定められている、誘導灯から15mの地点で視認できることを確認している。このため、前提として視認距離の限界は15m以上であると言える。視認距離15m以下において本予測式により求められる視認距離は妥当と言える。ここでは、視認距離15mの時に求められる減光係数を、本予測式の減光係数の下限値とし、これを求めることとする。

表12 回帰式の決定係数(2実験統合)

	自由度調整 決定係数	誤差の標準 偏差(RMSE)	F値	有意確率
通路誘導灯 (左方向)	0.593	1.497	61.482	<0.0001*
通路誘導灯 (両方向)	0.532	1.390	50.918	<0.0001*
避難口誘導灯	0.557	1.486	54.525	<0.0001*
案内標識	0.655	1.497	79.723	<0.0001*

*は有意水準5%で有意となることを示す

表13 回帰式の偏回帰係数(2実験統合)

	項	偏回帰係数	標準化 偏回帰係数	有意確率	VIF
通路誘導灯 (左方向)	逆数(減光係数)[1/m]	3.286	0.775	<0.0001*	1.018
	正対面積[m ²]	101.827	0.217	0.0029*	1.018
通路誘導灯 (両方向)	逆数(減光係数)[1/m]	3.528	0.764	<0.0001*	1.101
	正対面積[m ²]	129.995	0.341	<0.0001*	1.101
避難口誘導灯	逆数(減光係数)[1/m]	3.525	0.787	<0.0001*	1.117
	正対面積[m ²]	160.211	0.370	<0.0001*	1.117
案内標識	逆数(減光係数)[1/m]	4.911	0.789	<0.0001*	1.001
	正対面積[m ²]	52.218	0.229	0.0007*	1.001

*は有意水準5%で有意となることを示す

表14 回帰診断後の回帰式の決定係数(2実験統合)

	自由度調整 決定係数	誤差の標準 偏差(RMSE)	F値	有意確率
通路誘導灯 (左方向)	0.717	1.204	100.854	<0.0001*
通路誘導灯 (両方向)	0.645	1.128	76.382	<0.0001*
避難口誘導灯	0.734	1.069	107.356	<0.0001*
案内標識	0.782	1.144	142.953	<0.0001*

*は有意水準5%で有意となることを示す

表15 回帰診断後の回帰式の偏回帰係数(2実験統合)

	項	偏回帰係数	標準化 偏回帰係数	有意確率	VIF
通路誘導灯 (左方向)	逆数(減光係数)[1/m]	4.382	0.887	<0.0001*	1.092
	正対面積[m ²]	142.002	0.314	<0.0001*	1.092
通路誘導灯 (両方向)	逆数(減光係数)[1/m]	3.782	0.846	<0.0001*	1.103
	正対面積[m ²]	114.607	0.326	<0.0001*	1.103
避難口誘導灯	逆数(減光係数)[1/m]	3.676	0.903	<0.0001*	1.107
	正対面積[m ²]	137.192	0.347	<0.0001*	1.107
案内標識	逆数(減光係数)[1/m]	5.380	0.870	<0.0001*	1.003
	正対面積[m ²]	50.607	0.232	<0.0001*	1.003

*は有意水準5%で有意となることを示す

また、これと合わせて建物に不慣れな人が避難を始める減光係数は $0.1[1/m]$ 程度^{13) 注11)}、建物をよく知っている人でも避難に支障が出る減光係数は $0.3[1/m]$ ^{13) 注11)} 程度であることが知られているため、これらの状況における視認性について考察する。

予測式(1)～(4)において水平角 0° 、 60° 、 80° のそれぞれにおける視認距離 $15m$ の時の各標識の減光係数を求めると、通路誘導灯（左方向）は 0.33 、 0.30 、 $0.28[1/m]$ 、通路誘導灯（両方向）は 0.29 、 0.27 、 $0.26[1/m]$ 、避難口誘導灯は 0.28 、 0.25 、 $0.24[1/m]$ 、案内標識は 0.38 、 0.36 、 $0.34[1/m]$ となる。すなわち、これらの減光係数の値以下の煙濃度であれば視認可能となる。

不慣れな人が避難し始めるとされる減光係数 $0.1[1/m]$ ¹³⁾ において、標識の種類、水平角に関わらず $15m$ からすべてが視認できることが確認できる。建物をよく知っている人でも避難に支障が出るとされる減光係数 $0.3[1/m]$ ¹³⁾ では、通路誘導灯（左方向）の 70° 及び 80° と通路誘導灯（両方向）及び避難口誘導灯の全水平角において、 $15m$ からは視認できないことが示唆される。また、案内標識は誘導灯に対して遠い距離から視認可能であることが分かる。

以上より、減光係数を予測式に代入した際、視認距離が $15m$ 以下となり視認距離を精度よく算出できる減光係数の下限値は、通路誘導灯（左方向）で $0.33[1/m]$ 以上、通路誘導灯（両方向）で $0.29[1/m]$ 以上、避難口誘導灯で $0.28[1/m]$ 以上、案内標識で $0.38[1/m]$ 以上となる。視認距離が $15m$ を超える場合は予測式の精度に配慮し、少なくとも視認距離は $15m$ 以上であることを確認することができる。

5.1.2 消防法の有効範囲において誘導灯を視認できる減光係数

消防法における C 級誘導灯の有効範囲は通路誘導灯が $10m$ 、避難口誘導灯が $15m$ と定められている。各視認距離を予測式(1)～(3)に代入すると、水平角 0° においてこれらの距離が視認可能となる減光係数の最大値は、通路誘導灯（左方向）が $0.52[1/m]$ 、通路誘導灯（両方向）が $0.47[1/m]$ 、避難口誘導灯が $0.28[1/m]$ となる。この減光係数以下であれば、基準の距離で標識を正面から視認することが可能である。

5.1.3 減光係数及び水平角の視認距離に対する影響度

各標識の予測式(1)～(4)における正対面積の標準化偏回帰係数を減光係数と比較すると、通路誘導灯（左方向）は 0.35 倍、通路誘導灯（両方向）は 0.39 倍、避難口誘導灯は 0.38 倍、案内標識は 0.27 倍となる（表 15）。上記倍数は減光係数の視認距離に対する影響度を 1 とした時の正対面積（水平角）の影響度を示す。水平角と比較して煙濃度の方が誘導灯の視認距離に与える影響が高いことが分かる。

予測式(1)～(4)に正対面積を代入して正対面積の項（水平角の項）を視認距離に換算すると、最大（水平角 0° ）で $2m$ 前後となる。また、最大（水平角 0° ）と最小（水平角 80° ）の差は通路誘導灯（左方向）で $2.0m$ 、通路誘導灯（両方向）で $1.6m$ 、避難口誘導灯で $1.9m$ 、案内標識で $1.5m$ となる。水平角によって煙中での視認性に $1.5m \sim 2m$ の差が生じることから、水平角が避難時の視認性に影響を与えることが分かる。

各誘導灯の予測式(1)～(3)における減光係数の偏回帰係数を比較すると、通路誘導灯（左方向）が最も高く、通路誘導灯（両方向）と避難口誘導灯が続く（表 15）。減光係数は 1 次の項であるため、

偏回帰係数はその値が高い程、減光係数の増加に対する視認距離の減少が大きいことを示す。各誘導灯について、水平角及び減光係数が同じ状態でそれぞれ誘導灯を視認できる距離に人を立たせた場合、減光係数を増加させると立たせた位置からの視認距離の減少量は上記の順になる。

図 7 水平角毎の減光係数と視認距離の関係（2 実験統合）

各誘導灯の予測式(1)～(3)における正対面積の偏回帰係数を比較すると、値の高い順に通路誘導灯（左方向）、避難口誘導灯、通路誘導灯（両方向）となる（表 15）。偏回帰係数はその値が大きい程、正対面積の減少、すなわち水平角の増加に対する視認距離の減少が大きいことを示す。各誘導灯について、水平角及び減光係数が同じ状態でそれぞれ誘導灯を視認できる距離に人を立たせた場合、水平角を増加（正対面積を減少）させると立たせた位置からの視認距離の減少量は上記の順になる。

以上より、減光係数と水平角の両方について、視認距離に対する影響を最も受け易いのは通路誘導灯（左方向）である。減光係数については通路誘導灯（両方向）と避難口誘導灯が続いて影響を受け易い。水平角については、避難口誘導灯の受ける影響は通路誘導灯（左方向）と同程度であり、通路誘導灯（両方向）が最も影響を受け難い。なお、案内標識は通路誘導灯（左方向）より減光係数の影響が大きく、全誘導灯より水平角の影響が小さい。

5.2 まとめ

本研究は、煙の濃度・標識の種類・標識の視方向に対する水平角が視認距離に与える影響を基に標識の配置指標を作成することを目的とし、被験者実験を行うことで誘導灯及び案内標識模型について視認距離に対する減光係数と水平角の影響を把握した。結果として、各標識について減光係数と水平角を用いた視認距離の予測式を得た。

- ・本実験の結果から各標識について水平角から得られる正対面積と減光係数に基づく視認距離の予測式を得た (L : 視認距離[m], C_s : 減光係数[1/m], S_{ha} ($= S \cos \theta$): 正対面積[m²], S : 標識表示面の面積（内容記載部の方形面積）[m²], θ : 水平角[°])。

通路誘導灯(左方向) : $L = -0.81 + 4.38/C_s + 142.00 \cdot S_{ha}$

通路誘導灯(両方向) : $L = -0.07 + 3.78/C_s + 114.61 \cdot S_{ha}$

避難口誘導灯 : $L = -0.59 + 3.68/C_s + 137.19 \cdot S_{ha}$

案内標識 : $L = -0.97 + 5.38/C_s + 50.61 \cdot S_{ha}$

ただし、有効とする水平角 θ の範囲は $0^\circ \sim 80^\circ$ とする。本実験の状況から、本式は算出される視認距離 L が 15m 以下の範囲で妥当に推定できる。加えて、視認距離 L が 15m を超える場合は、少なくとも視認距離は 15m 以上であることを確認できる。

- ・予測式により視認距離を精度よく算出できる減光係数の範囲は通路誘導灯（左方向）で 0.33[1/m]以上、通路誘導灯（両方向）で 0.29[1/m]以上、避難口誘導灯で 0.28[1/m]以上、案内標識で 0.38[1/m]以上となる。
- ・不慣れな人が避難し始めるとされる減光係数 0.1[1/m]¹³⁾で、標識の種類、水平角に関わらず 15m から全てが視認できることが推定された。
- ・建物をよく知っている人でも避難に支障が出るとされる減光係数 0.3[1/m]¹³⁾においては、通路誘導灯（左方向）の 70° 及び 80° と通路誘導灯（両方向）及び避難口誘導灯の全水平角において、15m からは視認できないことが示唆された。
- ・求めた予測式により、水平角 0° の場合、消防法に規定される誘導灯の有効範囲（通路誘導灯：10m、避難口誘導灯 15m）において、建物をよく知っている人でも避難に支障が出るとされる減光係数 0.3[1/m]¹³⁾においても、避難に使用できることが示唆された。

5.3 今後の展望

今後は、異なる表示面面積や輝度、照明の種類や照度基準の異なる空間、黒煙の様な異なる成分の煙に関する既存もしくは今後の研究成果を用いることで、本報の予測式の適用範囲を広げる必要がある。加えて、実験での誘導灯の設置箇所は眼高より上部の天井付近である。床面や足下に設置された誘導灯の視認性については把握の余地がある。

本研究は神による既往研究¹⁾と類似の範囲の研究であり、室内照明が通常時点灯の場合には標識の視認限界時の輝度対比を一定として視認限界距離の計測を行っても誤差は少ない一定条件下での研究成果を示しているが、停電等により周辺光が低下した状況も含めて散乱光の重量による視認性への影響については検討の余地がある。

回帰式では、現実の状況において説明変数となりうる要素を取捨選択し、選択した説明変数の中からさらに効果のある変数を選択する。上述した煙の種類や表示面面積といった他の要素に関するデータを追加実験や実験条件増加によって取得し、要素間における説明変数の独立性の確保ができれば、多様な説明変数を含めた予測式を導出できる可能性はある。しかしながら、変数の増加は、多重共線性発生確率の増加、式全体の決定係数の上昇とそれを防ぐための実験サンプル数の増加に繋がる。実験条件と実験サンプルの増加については、被験者への負担が増加することから、限界がある。本報の予測式を核とし、関連性が高くかつ実務上管理可能となる適切な数の要因を選択することで各状況への対応が可能となると考えられる。

参考文献

- 1) 神 忠久：煙中の誘導標識の見透し距離について（Ⅰ），日本建築学会論文報告集，第 182 号，pp.21-32，1971. 4
- 2) 神 忠久：煙中の誘導標識の見透し距離について（Ⅱ），日本建築学会論文報告集，第 192 号，pp.41-47，1972. 2
- 3) 神 忠久：煙中の誘導標識の見透し距離について（Ⅲ），日本建築学会論文報告集，第 204 号，pp.47-53，1973. 2
- 4) 山田常圭：煙中における誘導灯及び各種照明器具の見透し距離(その 1)，新旧避難口誘導灯の比較，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-2，pp.139-140，2002. 8
- 5) 森山修治ほか：大規模地下街における避難行動特性に関する実験研究，実験概要と避難経路・避難出口の選択性，日本建築学会環境系論文集，第 637 号，pp.233-240，2009. 3
- 6) 田中孝治，加藤隆：避難口誘導灯に通過後の情報を付加することの効果，心理学研究，第 83 巻，第 3 号，pp.182-192，2012. 8
- 7) 横石めぐみ，林田和人，渡辺仁史：暗視下における高輝度蓄光材を用いた避難行動特性に関する研究，日本建築学会関東支部研究報告集 II，pp.53-56，2007. 2
- 8) 秋月有紀，岩田三千子，奥田紫乃，田中峰義：立体角投射率を用いた避難経路のサイン設置状況の把握 -円滑な避難誘導のための視環境計画に関する研究- その 1-，日本建築学会環境系論文集，第 641 号，pp.767-773，2009. 7
- 9) 石井弘允ほか：高輝度誘導灯の斜め方向からの見え方に関する評価実験報告書，社団法人 日本照明器具工業会，2000.3
- 10) 藤井皓介ほか：煙中における案内標識及び誘導灯の視認距離，平成 24 年度日本火災学会研究発表会梗概集，B26，pp.152-153，2012. 5
- 11) 藤井皓介ほか：視方向に対する標識水平角の鋭角時における視認距離に対する影響 -煙中における案内標識及び誘導灯の視認距離- その 2-，平成 25 年度日本火災学会研究発表会梗概集，PS2，pp.354-355，2013. 6
- 12) 日本規格協会：JIS A 1306:1983 減光法による煙濃度の測定方法，1983
- 13) 室崎益輝著：現代建築学 建築防災・安全，鹿島出版会，2000.1

注

注 1) 誘導灯は機能により、避難口誘導灯、通路誘導灯、階段通路誘導灯、客席誘導灯の 4 種類に分類される。本研究では、避難時の経路及び出口を提示する避難口誘導灯と通路誘導灯に着目する。

- 注 2) 避難経路における煙の滞留を想定した誘導灯の設置基準の見直し(平成 21 年 12 月 1 日施行)：消防法施行規則の一部改正(平成 21 年 9 月 30 公布)により、カラオケボックスや個室ビデオ店などの個室型店舗や地下街など(消防法施行令別表第一 2 項二、16 項、16 の 2 項、16 の 3 項に掲げる防火対象の用途に供される部分)では煙の滞留が想定されるため、通路誘導灯を床面またはその直近部分に高輝度蓄光式誘導標識を追加で設置することによっても代替できる様になった(同規則第 28 条の 3 第 4 項第 3 号の 2 関係)。駅舎については、通路誘導灯が視線上部に設置される場合がある。ただし、駅舎(消防法施行令別表第一 10 項に掲げる防火対象の用途に供される部分)を含めた一部の防火対象物については、非常電源で 60 分間以上点灯可能な誘導灯の設置義務と高輝度蓄光式誘導標識の併設による 20 分間以上点灯可能な誘導灯の据え置き許可が記載されている。乗降場が地階にあるものが対象となり、乗降場とそれに通じる階段・通路も設置義務が生じる。床面積 50000 m²以上の防火対象物②地上階の階数が 15 以上階であるとともに床面積 30000 m²以上の防火対象物③床面積 1000 m²以上の地下街が対象となる。
- 注 3) 本研究における視認距離は、標識の文字及びピクトグラムを判読・識別できる認知距離とする。案内標識については表示面にある矢印の方向と文字、誘導灯についてはピクトグラムの判別ができるものとする。
- 注 4) 本研究では、現実の誘導灯の配置状況に類似する通路を想定したため、蛍光灯を連続的に配置した空間において実験を実施した。照明光点灯下における実験であることから、煙粒子により被験者の目に届く標識からの光が減少することに加えて、散乱することで被験者の目に届く照明による光が標識及び背景の輝度に重畳されるために標識と背景の輝度の差が小さくなる。これにより、背景と標識の区別が無煙状態の時よりもしづらくなると考えられる。廊下または室内の一部を模した実験空間により実施した既往の実験⁹⁾において、室内照明が通常時点灯の場合には標識の視認限界時の輝度対比を一定として視認限界距離の計測を行っても誤差は少ないとしている。本実験は、照明光の強さを通常時点灯の範囲内としており、煙の質、背景輝度、標識の輝度、照明光の強さを固定している。
- 注 5) 測定において代表となる減光計の位置は、水平方向について、誘導灯正面と実験空間中央付近とし、実験 1 と 2 とともに同位置である。スタート地点の変更に伴いスタート地点に合わせて変更したが、水平位置間における減光係数の計測値の差は小さいことを確認した。また、代表となる測定点の精度を高めるためにその間の部分を補完的に計測した。その上で近傍の測定点のデータが近いことを確認できたため、減光係数については近傍のもの同士を平均した値を用いている。
- 注 6) 駅舎通路を想定し、JIS Z 9110 照明基準総則において規定される駅舎通路における照度に合わせた。JIS Z 9110：2010 照明基準総則において維持照度及び照度均斉度、JIS Z 9110：2011 照明基準総則(追補 1)において照度範囲を規定している。駅舎の照度基準は 1 日の乗降客数により異なる。通路の維持照度は A 級駅、B 級駅、C 級駅の順に 200、100、75lx、照度均斉度は 3 駅ともに 0.4 となる。実験空間における平均照度 114lx は、B 級駅の照度範囲 75～150lx を満たすとともに、A 級駅に求められる照度の最小値を満たすものである。大規模駅は A 級駅に含まれる。大規模駅は空間が広く、加えて節電対策による照明が削減されているため、照度分布にばらつきが出ると考えられる。
- 注 7) 誘導灯及び案内標識の表示面の平均輝度と本実験における背景輝度を下表に示す。いずれも煙のない初期状態における値である。なお、案内標識については表示周辺の輝度を測定した。

標識	平均輝度[cd/m ²]	背景輝度[cd/m ²]
通路誘導灯(左方向)	369	25
通路誘導灯(両方向)	475	25
避難口誘導灯	251	25
案内標識	472	25

- 注 8) 実験 1 については実験試行の繰返しに伴い、減光計の測定電圧が低減する状況が見られたため、減光係数の変化を一樣増加と仮定した補正値を用いている¹⁰⁾。
- 注 9) 回帰診断(Diagnostic Regression Analysis)は、少数のデータの影響によるモデルの歪みをモデル自身に評価させることでデータ構造を把握するものであり、データ診断、構造診断、モデル診断に分類される。データ診断では、説明変数と目的変数、両方の外れ値を求める。構造診断では、変数選択と多重共線性の把握を行う。モデル診断では、残差分析によりデータの構造とモデルの形の整合性を把握する。

- 注 10) 交互作用項は、主効果の中心化もしくは標準化により主効果との多重共線性を解消することができるが、中心化や標準化により要因の偏回帰係数の有意確率に変化はない。並びに交互作用投入前後の決定係数の変化及び要因の偏回帰係数と VIF から交互作用項の効果を判断できる。
- 注 11) 参考文献 13)を参考とし、減光係数と対応する視認状況を以下に示す。

減光係数(1/m)	状況説明
0.1	うつすら煙が漂う時の濃度。煙感知器はこの程度の濃度で作動する。また、建物に不慣れな人はこれ以上濃くなると避難に支障が出る。
0.3	建物を良く知っている人でも避難する時に支障が出る。
0.5	薄暗い感じがする時の濃度。手探り的な避難になる。
1.0	ほとんど前方が見えなくなる。
10	最盛期の火災階の煙の濃度。暗闇状態でほとんど何も見えない。誘導灯も見えない。

(2013年11月10日原稿受理, 2014年 4 月23日採用決定)