照度計算のアナロジーを用いた商業施設内看板の視覚的情報取得に関する研究
視認性・判読性の検討RESEARCH ON VISUAL INFORMATION ACQUISITION OF SIGNBOARD IN SHOPPING MALL
USING ANALOGY WITH ILLUMINANCE CALCULATION

Focusing on visibility and legibility

小崎 美希^{*1}, 有馬 明日香^{*2}, 西川 麻里奈^{*3}, 平手 小太郎^{*4}*Miki KOZAKI, Asuka ARIMA, Marina NISHIKAWA
and Kotaroh HIRATE*

This study focused on visibility and legibility of a signboard in shopping mall, and its predictive equation. Predictive equation was derived using analogy with illuminance calculation. Experiment 1 was held to prove the analogy, using square light equation and line light equation. Experiment 2 was done to find luminous flux that stands for the amount of information one signboard holds. As a result, number of letters, ratio of luminance differences and font factor were plugged into the predictive equation. Using the result of experiment 3, the equation was roughly verified.

Keywords : Signboard, Visibility, Legibility, Visual information acquisition, Illuminance calculation, Analogy

看板, 視認性, 判読性, 視覚的情報取得, 照度計算, アナロジー

1. はじめに

看板の視認性に関する研究は、円滑な行動に関係するため、交通分野で昔から多く研究がなされてきた。近年ではカーナビゲーションシステムなど車移動や歩行に関わらず多くのアプリケーションの開発も進み、看板の視認性以外の側面からの支援も進んでいる。しかしながら、施設の複雑化や情報過多の現状を踏まえると、施設内での対策はまだ不十分であると考えられる。

秋月ら¹⁾は情報過多の現状を明らかにするために立体角投射率を用いている。これにより、避難行動に必要な看板の配置の不備などを明らかにすることができているが、視点からの見た目の大きさや視野内で占める割合のみの検討に留まっている。加藤ら²⁾は情報が複数呈示されている場合、情報取得のしやすさは多くの既往研究や定説が示しているような看板面や文字の大きさや輝度対比などの項目だけでなく、他との差別化がしやすいかどうかことが重要であることを示している。

田淵ら³⁾は看板に関する評価項目に誘目性、視認性と判読性を挙げ、関連する要因を整理している。本報ではまず視認性と判読性に着目して検討を行う。定義として、誘目性は「周辺視も含めて注視方向に関わらず視線を誘導するか否か」、視認性は「視線方向において視対象が認識できるか否か」、判読性は「視対象が読めるか否か」

を用いることとする⁴⁾。

本研究では、照度計算とのアナロジーに着目し、視覚的な情報取得のしやすさ（見易さ）を明らかにすることを目的とする。これにより照明シミュレーションなどのソフトを用いて視覚的な情報取得のしやすさを予測することが可能になると考えている。看板の視認性に関しては先に紹介した既往研究を始め古くから研究が多くなされており、要因は整理されている。本研究ではそれらを踏まえ、仮説の対応関係が成り立つか実在看板を用いて定式化することを目的としている。

2. 仮説：視覚的情報取得と照度計算のアナロジー

本研究の仮説として、視覚的な情報取得のしやすさと照度計算には対応関係があると考え、照度計算の分野で用いられている事柄を用いることは情報取得のしやすさの研究に寄与するとともに、予測もしやすくなると考えた。以下、視覚的情報取得と照度計算に見られる対応関係を整理し、定義する。なお、一般的に視覚的情報と輝度との関係（空間の明るさなど）が知られているが、評価地点での情報取得度を主眼とするため、照度との対応関係が適切と考えた。

面光源を情報発信源である面積 S を持った看板面、受照面（点）を情報取得面（点）、看板面と情報取得面との距離を r と設定し、面

^{*1} お茶の水女子大学基幹研究院自然科学系 助教・博士(工学)

Assist. Prof., Faculty of Core Research, Natural Science Division, Ochanomizu Univ., Dr.Eng.

^{*2} 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 修士課程

Dept. of Arch., School of Eng., The Univ. of Tokyo, B.Eng.

^{*3} 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 博士課程・修士(工学)

Dept. of Arch., School of Eng., The Univ. of Tokyo, M.Eng.

^{*4} 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 教授・工博

Prof., Dept. of Arch., School of Eng., The Univ. of Tokyo, Dr.Eng.

光源の直接照度の算定式（式 1）⁵⁾ を用いて次の対応関係を仮定する。ここで E は情報取得度、 θ は看板面の法線と視点との角度、 β は注視方向と看板面との角度として定義する（図 1）。 $L(\theta)$ は看板の方向別情報発信度と定義され、どの方向にも同じ情報を発信しているのであれば（角度によって文字が減ることがないなど）、均等拡散面を想定し、 θ に因らないものとする。

$$E = \int_S \frac{L(\theta) \cos \theta \cos \beta}{r^2} dS \quad \text{式(1)}$$

Fig. 1 Definition of hypothesis

以下の 5 点を明らかにすることがこのアナロジーの検証になると考えられる。①距離の二乗に反比例すること ($1/r^2$)、②見かけの大きさが関係すること ($\cos \theta$)、③視線方向と看板との角度 β 、④看板の情報量 Φ 、⑤直接照度と評価の関係であり、以下詳しく説明する。

①情報発信源との距離が遠くなるほど見にくくなるのと同様に、光源との距離が遠くなるほど受照面照度は暗くなる。照度の場合は距離の二乗に反比例するとされている。秋月ら¹⁾が立体角投射率を用いて検討しているように、情報に関しても、看板面から発せられる情報量が視点との距離との関係で二乗に反比例すると仮定できる。

情報発信源との角度には式 1 に表されているように 2 種類検討すべきである。②前述したように θ は看板面の法線と視点との角度である。情報発信面を角度がある位置から見る文字が $\cos \theta$ 減じられた大きさに見えるのと同じように、輝度も定義として光源面の大きさではなく $\cos \theta$ 減じられた見かけの大きさを用いて規定されている^{注1)}。看板面の大きさと合わせて検討し、見かけの大きさ ($= \cos \theta$) との関係を検討することとする。見かけの大きさが大きいほど光源が明るいように、見かけの大きさが大きいほど情報取得がしやすくなる。

③二つ目の角度 β は注視方向と看板面との角度である。注視方向ではない方向からの情報は注意を払いにくいと同様に、光も進行方向と受照面が直交していない場合はその分減じられる。これは一般的に余弦法則として知られており、 $\cos \beta$ 減じられている。視認性・判読性の場合には視線方向に看板が位置していることを想定しているため、 β は 0° である。一方、誘目性の場合には注視方向に看板があるとは限らないため、 β は任意の値をとる。本研究では視認性・判読性を対象とするため、 $\beta = 0^\circ$ の場合を検討する。

④光源によって光束量が異なるように、看板によって情報発信量が異なる。情報のエネルギー量たるものを規定することができれば、看板面の特性が反映できる。

⑤障害物が情報発信源と取得面の間にある時に見えないように、光源と受照点との間に障害物がある場合、直接照度は得られない。

相違点としては、照度計算の際には周辺の内装面に反射した二次的な光も考慮する点である。この点は直接照度のみを検討する（空間面の反射率が 0%）との制限により解決できると考えられる。本研究では予測式の算定を主目的とするため、評価地点においては看板を物理的に視覚可能な地点を選定しているため、この点は扱わない。

本研究では看板面に対して一つの評価となるように検討を行うため、均等拡散面を想定することとし（輝度は角度に因らない $L(\theta) = \text{定数 } L$ ）、看板面内の平均的な値を用い（距離 r は S に因らない）、看板面に向かって ($\beta = 0^\circ$) 視認性・判読性の検討を行うため、以下の式 2 についての検討を行う。

$$E = \frac{L \cdot S \cos \theta}{r^2} \quad \text{式(2)}$$

2. 1. 目的

視覚的な情報の取得しやすさと照度計算の関連性について明らかにすることを本研究の目的とする。視認性・判読性に焦点を当てるため、③余弦法則は本研究では扱わない。具体的には①距離の二乗の反比例、②見かけの大きさ、④看板面の情報量の特性について実空間実験を通して明らかにする。これまでの看板の視認性に関する研究では、関連する要因の整理や個別の要因の影響力などが検討されてきた。本研究では実在する看板を評価することで総合的かつ実践的な看板の評価・予測につなげていくことが可能であると考えられる。

3. 実験 1：距離の二乗の反比例と見かけの大きさの検討

3. 1. 実験概要

目的①距離の二乗に反比例関係と②見かけの大きさに関して、視認性や判読性評価との関係性を検討するために実験を行った。

評価項目：視認性（「7 見つけやすいー1 見つけにくい (Discoverable)」^{注2)}、「7 サインであることが分かりやすいー1 分かりにくい (Perceivable)」と判読性（「7 読みやすいー1 読みにくい (Legible)」、「7 内容が分かりやすいー1 分かりにくい (Comprehensible)」）に対して 7 段階の評定尺度法を用いた。

評価対象：実空間での適応を考慮するため、神奈川県商業施設 N に設置されている看板を対象に実験した。一般的な複合商業施設に設置されている看板であるため、視認性・判読性に影響を及ぼす光環境ではない。対象看板は 2 つ選定し、各看板に正対した距離と看板の法線と視点との角度を変数として評価地点を設定した^{注3)}。座標軸の取り方を図 2 に（下付き s は看板番号、 p は評価地点番号、 n は被験者番号とした）に記した。

看板 1 は「CASHIER」と明記されており、文字列の大きさは H 120mm×W 1022mm、設置高さは看板中央で 2620mm である。看板 2 は「BOOKSTORE」と明記されており、H 230mm×W 1800mm、設置高さは看板中央で 2950mm である。

実施時期：現場実験で行ったことから、まず傾向をつかんでから評価地点を増やす 2 段階に分けて実施した。1 回目は 2017 年 2 月 10 日、2 回目は 2017 年 3 月 14～20 日に実施した。

被験者：1 回目は地点 1～4 に対し、20 代の 19 名（内女性 10 名）に、2 回目は地点 5～13 に対して 20 代の 21 名（内女性 11 名）に協力してもらい、実施した。各被験者の視線高さを当日測定した。

平均値は 1 回目 1591mm と 2 回目 1659mm であった。

Fig. 2 Setting of the coordinates

3. 2. 実験結果

印象評価項目 4 形容詞対に関して検討した。被験者と評価地点それぞれ一元配置分散分析を実施したところ、いずれの場合でも有意な差が見られた。いずれの場合でも F 値は被験者の方が小さく、評価地点の差がより顕著であることが分かった (表 1)。

Table 1 Results of ANOVA of exp. 1

Adjectives	Subject		Evaluation points	
	F-value	p-value	F-value	p-value
Discoverable	4.399	<0.0001	25.592	<0.0001
Perceivable	6.157	<0.0001	16.340	<0.0001
Legible	4.147	<0.0001	24.374	<0.0001
Comprehensible	4.146	<0.0001	23.001	<0.0001

実験の 1 回目と 2 回目では被験者が異なるため、評価方法に違いがあるのか検討するために比較的近い位置にある看板 1 の地点 1 と地点 5 の結果に対して t 検定を実施した。結果 4 形容詞対すべてにおいて有意な差が見られなかったことから、評価方法に違いはないとみなすことにし、合わせて検討することとした (表 2)。

Table 2 Results of t-test of sign 1 point 1 and 5 (p-values)

	Discoverable	Perceivable	Legible	Comprehensible
p	0.741	0.776	0.396	0.666

3. 3. 目的①：距離の二乗の反比例に関する分析

目的①距離の二乗に反比例するかを明らかにするための分析を行った。被験者は看板設置階と同階にて評価しているが、看板設置高さ与被験者視線高さに差があるため、平面上の距離 r_{2d} と看板面中央と視点との 3 次元空間での距離 r_{3d} をそれぞれ算出し、検討した^{注 4)}。なお、 r_{2d} は評価地点に対して 1 つの値であるため、関係性を検討する評価項目は被験者平均値を用い、 r_{3d} は被験者毎に違う値をとるため、生データを用いる。

4 形容詞対に対して評価地点との距離の関係を見るために単回帰分析を行った。すべての形容詞対に対して p 値 0.0001 以下の有意な差が見られた。Log₁₀ (r) を用いて分析した結果、係数は-1.6~-1.9 と-2 (二乗の反比例) に近い値になっており、距離の二乗に反比例するとの仮説が妥当であることが示された (表 3) ^{注 5)}。

Table 3 Coefficient results of regression analysis

Adjectives (Objective)	Horizontal distance r_{2d} (Average value)		Spatial distance r_{3d} (Raw data)	
	r_{2d}	log ₁₀ (r_{2d})	r_{3d}	log ₁₀ (r_{3d})
Discoverable	-0.076	-1.684	-0.075	-1.697
Perceivable	-0.077	-1.635	-0.076	-1.650
Legible	-0.083	-1.839	-0.083	-1.856
Comprehensible	-0.089	-1.933	-0.089	-1.957

3. 4. 目的②：見かけの大きさに関する分析

目的②見かけの大きさと評価との関係性を明らかにするための分析を行った。距離同様、看板面が設置されている平面上での検討と 3 次元空間での検討が考えられる。平面上での検討の場合、看板面と視点との左右角 θ_H と仰角 θ_E を用いた検討であり、3 次元空間での検討の場合は看板面の法線と視線との角度 θ_S を用いた検討である (図 3) ^{注 4)}。

Fig. 3 Definitions of the angle

まず評価地点における被験者の視点の違いについて検討した。仰角に関しては被験者の身長の違いによる差が発生するため、cos θ_E の一元配置の分散分析を行った。被験者では有意差は見られず (p 値 0.852)、評価地点では差が見られた (p 値 <0.0001)。ちなみに最も差が出る看板との距離が一番近い看板 2 評価地点 5 の角度を検討したところ、高身長の仰角 (13.90°) と低身長長の仰角 (17.02°) の差は 3.12° と大きく、一方地点による差が最も小さくなる遠方の 2 地点の高身長長の仰角の差は、看板 1 地点 10 (0.888°) と地点 11 (0.769°) の 0.119° となった。この検討により、評価地点によって被験者特性の影響力が異なることが示唆された。

距離同様、4 形容詞対に対する角度や看板面積の影響を検討した。一元配置分散分析の結果、有意な結果は得られなかった。看板面積と角度の交互作用も考えられるため、二元配置分散分析を行った。3 次元での検討の場合、一部で有意な差が見られた (表 4)。距離よりも影響力は低いと考えられるが、引き続き仮説の検証を進める。

Table 4 Result of two-way ANOVA (p-value)

Adjectives (Objective)	Spatial distance r_{3d} (Raw data)		
	Area S	cos θ_S	Interaction
Discoverable	0.018	0.020	0.075
Perceivable	0.928	0.898	0.730
Legible	0.362	0.427	0.133
Comprehensible	0.357	0.121	0.022

Note: Shaded cell indicates statistical insignificance

3. 5. 実験 1 の考察

目的①距離の二乗の反比例と②見かけの大きさを合わせた検討を行った。看板の面積に関してさらに検討し、看板高さと同幅と分けて分析したところ、看板高さよりも看板幅の影響が強いことが分かった。本実験の対象のように 1 行の文字列の場合、情報量は面ではなく線で考慮する方がよい場合も考えられる。そこで線光源による直

接照度の算出式 (式 3) の光度以外の部分に関し、 w を看板幅、 r ($=r_{sd}$) を看板中央から視点までの距離として算出し、関係性を同様に検討した。本来であれば生データでの検討が必要であるが、看板別の適合性に焦点を当てるため、印象評価値と定量的指標をそれぞれ評価地点ごとに平均化した値を用いた。

$$E = \frac{1}{2} \left(\frac{w}{w^2 + r^2} + \frac{1}{r} \tan^{-1} \frac{w}{r} \right) \quad \text{式(3)}$$

分析の結果、 $(S \cdot \cos \theta_s / r^2)$ 、線光源の場合 (line light)、いずれの場合においても適合性がよかったが、横軸である定量的指標の Log_{10} をとった値との適合性がよりよかった。視環境に関する事柄も Weber-Fechner の法則に従うことを鑑みれば妥当である。図 4 に一例として読みやすさと $\text{Log}_{10} (S \cdot \cos \theta_s / r^2)$ 、表 5 にその他の回帰式の結果を示す。単回帰であるため、決定係数 R^2 と回帰係数を記載した。また看板別に検討したところ、より適合性がよくなり、回帰係数に違いが見られたため合わせて表 5 に記す。いずれも p 値は 1%水準で有意であった。

Fig. 4 Regression analysis of Legible and $\text{Log}_{10}(\text{Scos}\theta/r^2)$

Table 5 Results of regression analysis

Adjectives (Objective)	Sign no.	$\text{Log}(S \cdot \cos \theta_s / r^2)$		$\text{Log}(\text{Line light})$	
		R^2	Coef.	R^2	Coef.
Discoverable	All	0.49	0.59	0.51	1.76
	1	0.52	2.25	0.49	2.14
	2	0.74	2.03	0.69	2.02
Perceivable	All	0.47	1.44	0.54	1.68
	1	0.67	2.41	0.64	2.33
	2	0.67	1.75	0.71	1.86
Legible	All	0.51	1.68	0.54	1.87
	1	0.72	2.65	0.70	2.57
	2	0.77	2.23	0.67	2.15
Comprehensible	All	0.57	1.78	0.60	1.99
	1	0.77	2.79	0.76	2.72
	2	0.80	2.26	0.71	2.20

分析の結果から、面光源と線光源いずれの場合も可能性があることが示された。看板別の適合性の方が良いことから、面積 (もしくは幅) 以外の要因がこの違いをもたらしていることを示している。影響を与える要因としては、例えば文字数の違い (1 は 7 文字、2 は 9 文字) や照らし方の違い (1 は外照式、2 は文字が内照式)、フォントなどの影響が考えられる。これらは目的④である看板の情報量の違いがもたらしていると考えられるため、実験 2 を行う。

4. 実験 2: 看板面の情報量の検討

4. 1. 評価対象選定のための調査

目的④看板面の情報量を算出するための実験を行った。すなわち、看板面の視認性・判読性に影響を与える要因 (大きさや角度以外) が情報量 Φ の値に含まれているとの仮説の下、実験を行う。

実験に先立ち視認性や判読性に影響を及ぼす要因として、田淵ら³⁾は視認性に関する看板面の特徴として照度、色、大きさ、形状、素材、背景とのコントラストを挙げている。また判読性に関しては文字の大きさや字画面、線の太さや書体、背景とのコントラストを挙げている。実験 1 の結果とも比較できることを考慮し、評価対象を選定することにした。

実験 1 を実施した商業施設 N にて評価対象を選定するために調査を行った。既往研究で明らかになっている情報量の違いをもたらす要因を中心に、テナント 130 店舗の 167 個のサインを調査した。実験 1 で明らかになった文字数の違いや照明方式の違い、既往研究で明らかになっている要因の中で、以下の 6 つの要因を実験要因として選定した。素材に関しては室内の看板であるゆえに自由度が高いが、素材の凹凸に対して文字の大きさが十分大きいものであり、視認性や判読性に影響を与える範囲内ではないと考えた。

大きさ (Size): 実験 1 の看板 1 は 0.123 m^2 、2 は 0.414 m^2 であったため、大きい壁面看板 (1.07 m^2) から小さなサイン (0.0036 m^2) まで選定した。

色 (Color): 盤面と文字との対比の違いを検討するため、白黒を基準として他の要因を比較できるように選定し、加えて明度差が無い組み合わせ (茶黒、白白) まで段階を設けた。

照明 (Lighting): 外照式 5 と文字内照式 5、看板内照式 1 を選定。

文字形状 (Font): 読みやすさに影響があるため、すべてアルファベットの記載であるものとし、線の太さがばらつくように選定した。

文字数 (N: Number): 3 から 10 までばらつくように選定した。

実在する看板で実験的な統制がとれるわけではないものの、視認性・判読性に影響を与える主要要因と考える大きさ、輝度対比、文字形状に関して水準をおおよそ 3 つに分けて、それぞれ主効果を検討できるようにラテン方格 (3×3) を参考に算出した。また規準となるような標準的な看板と小さな看板合わせて 11 個の看板を選定した。他の要因もばらつくように選定した。測定結果と合わせて看板の特徴を表 6 に記す。

4. 2. 実験概要

調査結果に基づき選定した 11 の看板について、被験者評価実験を実施した。評価項目は実験 1 と同様の 4 形容詞対である。また実験 1 で明らかになっている距離や見た目の大きさに関しても検討するため、1 つの看板につき 2 もしくは 3 地点での評価を実施することにした。看板中央からおろした垂線の点をそれぞれ原点として評価地点の座標を表 7 に記す。なお、X 軸は図 2 に記されている通り右手方向を正とし、Z 座標はカッコ書きで看板ごとに記載した。実験被験者は 20 代の 20 名 (内女性 16 名) であり、2017 年 12 月 4 日および 5 日に実施した。

Table 6 Attributes of Sign board of exp.2

Sign no.	Area (m ²)	Colors						Letters						
		Color		Reflection rate (%)		Luminance (cd/m ²)		N	Occupancy rate (%)					Font factor
		Letter	Board	L	B	L	B		A	E	I	O	U	
1	0.044	dark blue	orange	6.2	22.7	75.1	135	6	68	-	-	-	-	3.121
2	1.066	lit white	black	-	4.0	1990	20.9	10	22	23	21	29	19	0.762
3	0.314	lit blue	white	-	91.1	342	218	3	-	-	56	-	-	1.822
4	0.202	lit white	white	-	69.8	2480	185	9	66	50	-	62	-	1.740
5	0.272	dark blue	white	9.0	82.0	87.0	186	9	56	42	-	-	58	2.102
6	0.557	black	brown	4.4	10.3	54.0	46.3	8	71	50	-	58	-	1.749
7	0.524	black	white	7.7	78.3	25.7	99.8	7	30	-	20	30	-	0.919
8	1.059	lit white	white	-	71.1	1850	139	7	20	-	-	19	-	0.790
9	0.004	black	white	6.9	82.1	39.4	468	8	31	49	58	-	-	1.577
10	0.226	lit white	brown	-	12.5	2740	56.5	6	-	62	-	59	-	1.815
11	0.144	lit black	lit white	-	-	342	1420	10	-	55	64	-	44	1.794

Note: "lit" indicates that it's lit from inside. L stands for letter and B stands for board. 3 digits are shown, yet analysis has been done using un-rounded number. The shaded cell indicates that it is not capitalized.

Table 7 Coordinate of each evaluation points

Sign no. (Zs)	Evaluation point no.					
	1		2		3	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
1 (2.50)	-7.18	6.89	7.91	23.29	-	-
2 (3.02)	-13.30	4.50	7.46	2.98	-	-
3 (2.88)	0.00	32.42	13.63	6.42	-	-
4 (3.02)	0.00	23.95	-10.12	1.90	-	-
5 (3.04)	0.00	4.74	-7.21	2.84	-11.01	2.84
6 (2.91)	4.29	9.97	-12.30	3.33	-	-
7 (2.98)	0.00	7.55	15.47	8.20	-9.87	8.20
8 (2.76)	-1.77	19.72	19.53	8.07	-	-
9 (2.19)	-0.36	6.89	3.44	2.25	-	-
10 (2.88)	0.00	11.37	13.83	3.82	-	-
11 (2.83)	0.00	5.90	10.70	2.04	-	-

4. 3. 実験結果

実験の結果について概説する。実験 1 同様、4 形容詞対に関し、評価地点と被験者の一元配置の分散分析を行った。いずれの場合でも F 値は被験者の方が小さく、評価地点の差がより顕著であることが分かった^{注6)}。

実験 1 の結果が当てはまるか同様の手順に基づき検討した。生データの分散分析の結果、視認性に関係するものは距離の影響、判読性に関するものは角度の影響がみられることが分かった。また、実験 1 では $\log_{10}(r)$ の係数が -2 に近かったが、今回は 0.5 と平方根との関係性が示唆された。実験 1 とは異なり、実験 2 では看板の情報量の違いを算出するために、看板一つに対する評価地点数を絞ったことと評価地点と看板との距離を同じくらいになるように設定したことが原因として考えられる。しかし、いずれの場合においても実験 1 で有効と考えた $(S \cdot \cos \theta_s / r^2)$ は有意な差が見られた^{注7)} (附表 5)。なお、線光源の場合も検討したところ、判読性に関係するものに関しては有意な差が見られた。

Table 8 Results of ANOVA of exp. variables exp.2 using average values (p-values)

Adjectives	r _{2d}	r _{3d}	$S \cos \theta$	$\frac{S \cos \theta}{r^2}$	Line light
Discoverable	0.287	0.285	0.099	0.267	0.801
Perceivable	0.218	0.217	0.141	0.393	0.903
Legible	0.990	0.996	0.070	0.032	0.196
Comprehensible	0.634	0.629	0.107	0.068	0.269

しかし、今後看板の補正に関しては、評価地点ごとの平均値を用

いるため、表 8 には被験者平均値を用いた分散分析の結果を記す。

$(S \cdot \cos \theta_s / r^2)$ が最も有力な要因であることを示しているが、生データを用いた際よりも有意な結果とはならなかった。

4. 4. 目的④：情報量の違いに関する分析

実験 2 の主眼は看板の情報量の違いであるため、まず視認性・判読性に影響があると仮説を立てた要因の影響を検討する。次にそれぞれ各要因が情報量としてどのような重みづけをもつのかを検討する。

1) 色・照明(Color)に関する分析

まず看板面の色の特性を検討するため、反射率と輝度の測定結果を概説する。外照式の看板面と文字面に使用されている色を反射率計(コニカミノルタ MisMCR-A)と色彩輝度計(コニカミノルタ CS-150)により測定した。その数値を表 6 に記載したが、内照式の看板など角度のついている場合に数値が異なるため、分析のために評価地点にて輝度分布を測定し、文字、看板面、背景輝度を抽出し、算術平均輝度を計算した^{注8)}。文字や看板面は 5 点の算術平均を測定し、背景輝度は看板面以外の視野内(185° 範囲内)の算術平均輝度を用いた。看板面が小さすぎる場合(8.349×10⁻⁶ [sr] 未満)には測定可能であった最も近い評価地点のデータを用いた。

結果を表 6 にまとめて記載する。白色は反射率 70%以上であり、輝度は 200cd/m²程度であった。黒は反射率 8%以下であり、輝度は 50 cd/m²程度であった。内照式の場合、外照式と比べて 10 倍近い輝度の値をとることが示された。

文字の際立ち等は明度差、輝度比などを用いて表現されることから、該当する値を検討した。明るさや対比に関しては Weber-Fechner は感覚量 R に対して刺激量 S、定数 k、n を用いた式 4 を定義している。Stevens はべき乗則を用いており(式 5)、また輝度対比に関しては最小輝度 L_{min} と最大輝度 L_{max} を用いた輝度コントラスト C_L(式 6) が指標として用いられることも多い。

$$R = k \log S \quad \text{式(4)}$$

$$R = k(S - S_0)^n \quad \text{式(5)}$$

$$C_L = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}} \quad \text{式(6)}$$

以上の項目に関して検討した。1. Weber-Fechner の適合性の検討

のため、文字輝度、看板面輝度、背景輝度をそれぞれ算出し、それぞれの対数と4形容詞対に対しての分散分析を行った。サイン分かりやすさとの関係性は多少見られたものの、有意な差が見られるほどではなかった。文字と面との比や面と背景の輝度差や輝度比が重要であると考え、輝度比の対数をとったもの、2. Stevens のべき乗則と3. 輝度コントラストと形容詞対との関連を検討した。Stevens に関しては、明るさに対応する n は 0.33~0.5 とされているが、それぞれの差と4形容詞対に対しての関係性を検討したところ、対数の係数は、文字と面の輝度差は 0.101~0.258 の間 (平均 0.181)、面と背景の輝度差は -0.252~-0.119 の間 (平均 -0.179) であった。いずれも平均値は 0.18 に近い値であったことから、 n を 0.18 とすることにした。同様に輝度コントラストを応用し、文字や面、背景輝度をそれぞれ当てはめた。Weber-Fechner と同様、有意な差が見られる結果ではなかった。また、文字と面との輝度対比はある方が高評価(正の相関)、逆に面と背景との対比は負の相関がみられたため、文字面輝度 L_L 、看板面輝度 L_B 、背景輝度 L_G として式 7 に示す値を色・照明に関する補正係数 C を定義した。視認性に関しては有用であることが分かった (表 9)。

Table 9 Results of ANOVA of color related variables (p-values)

		Discoverable	Perceivable	Legible	Comprehensible
1	LogL	0.260	0.121	0.779	0.796
	LogB	0.314	0.494	0.357	0.567
	LogG	0.127	0.061	0.381	0.547
	LogL/B	0.165	0.117	0.832	0.632
	LogB/G	0.151	0.205	0.263	0.474
2	(L-B)	0.091	0.049	0.500	0.499
	(B-G)	0.145	0.307	0.181	0.418
	C	0.006	0.013	0.092	0.216
3	C_{LLB}	0.173	0.095	0.789	0.902
	C_{LBG}	0.338	0.509	0.387	0.823

Note: L stands for letters on the board, B stands for board, and G stands for surroundings.

$$C = \frac{(\log L_L - \log L_B)^{0.18}}{(\log L_B - \log L_G)^{0.18}} \quad \text{式(7)}$$

2) 文字形状(Font)に関する分析

フォントによる読みやすさなどの影響が既往研究によって明らかになっているため、本研究ではアルファベットの看板に対象を限定した。文字が太いほうがインパクトは強くなるが、読みやすさは下がるなどの関係性が予期できる。隣の文字までの間も影響があると考えたため、各文字の占有密度を図 5 に示す値として定義し、画像解析により算出した。文字の左端から次の文字までを横幅、文字の高さを縦とした面に対する文字の面積比となる。これにより文字の太さだけでなく、文字間の間隔も含めた密集度合いの指標となる。

Fig. 5 Definition of Occupancy Rate (-)

基準化のため、Century で「AEIOUAaeioua」と記載した場合の占有率を算出した^{註9)}。その数値を基準に補正係数 (Font factor) を算出した。看板一つに対して複数の母音がいわれている場合、補正係数の平均値をその看板に対する補正係数として採用した。他と同様分散分析を行い、補正係数と心理評価との関係を検討した。有意な結果とならなかったため、次の文字数との関係性もあわせて検討することとした。

3) 文字数(N)に関する分析

看板に記されている文字数と印象評価との関係を検討した。文字数が多いと情報量が多く、見つけやすさや読みやすさに対して減じられるような方向になると考えられる。分散分析を実施したところ、占有率同様、有意な結果にならなかったため、二元配置の分散分析を行った。結果 (表 10)、有意にならなかったが、交互作用の p 値が最も良い結果となったため、占有率とあわせた合成変数の可能性を検討した。フォントの補正係数が低くなるほど読みやすく、また文字数が少ないほど情報処理がしやすいということが予想されるが、積と比と両方検討した。結果、仮説通り、積との関係性が強いことが分かった。またその対数との関係を検討した結果、係数が -0.59~-0.45 の間であったため、(-1/2) 乗が妥当であると考え、フォントと文字数と合わせて $\left[1/\sqrt{F \times N}\right]$ と補正係数を定義した。

Table 10 Results of ANOVA of font related variables (p-values)

		Discoverable	Perceivable	Legible	Comprehensible
MANOVA	N	0.464	0.514	0.654	0.544
	F	0.459	0.296	0.586	0.713
	Int.	0.214	0.135	0.658	0.360
F×N		0.314	0.224	0.484	0.522
F/N		0.759	0.805	0.903	0.627
Log F×N		0.255	0.171	0.366	0.368

Note: N stands for number of letters on the board, F stands for font factor, and Inter stands for interaction between them.

4) 分析まとめ

分析の目的としては、看板特性を表す情報量を算出することにある。これまでに検討した補正係数 (大きさ S 、輝度対比の係数を C 、文字形状の補正係数を F 、文字数を N 、定数 k) を合わせてみると面光源の場合は式 8、線光源が式 9 のようになる。形容詞対との関係性を見るために対数を取った値との関係性を示す (表 11)。代表的なものとして「読みやすい」の図を図 6 に記す。立体角投射率 ($\cos \theta/r^2$) や線光源のみの場合よりも適合性がよいことを示し (表 8 の結果と比較)、式 8 の場合は 4 形容詞すべてにおいて有意であることが示された。

$$E_1' = \frac{k \times C \times S \cos \theta}{r^2 \sqrt{F \times N}} \quad \text{式(8)}$$

$$E_2' = \frac{k \times C}{\sqrt{F \times N}} \left(\frac{w}{w^2 + r^2} + \frac{1}{r} \tan^{-1} \frac{w}{r} \right) \quad \text{式(9)}$$

Table 11 Results of ANOVA of adjusted variables (p-values)

	Discoverable	Perceivable	Legible	Comprehensible
Eq. 8	0.006	0.023	0.001	0.001
Eq. 9	0.195	0.351	0.028	0.105

Table 12 Attributes of Sign board of exp.1 and 3

Exp.	Sign no.	Area (m ²)	Colors					Letters						
			Color		Luminance (cd/m ²)			N	Occupancy rate (%)					Font factor
			L	B	L	B	G		A	E	I	O	U	
1	1	0.123	cream	black	30.7	13.3	62.4	7	39	45	40	-	-	1.493
	2	0.414	lit white	brown	319.4	30.7	92.5	9	-	29	-	27	-	0.933
3		0.199	yellow	blue	84.7	29.8	67.3	2	-	-	-	-	39	1.515

Note: "lit" indicates that it's lit from inside. L stands for letter, B stands for board and G stands for background. Luminance of the closest point is indicated for reference.

Fig. 6 Regression analysis of Legible and Log(Eq.9)

5. 予測式の検証

これまで照明計算のアナロジーを用いて視認性・判読性の検討を行ってきた。実験 1, 2 を通じて視認性・判読性に影響を与える代表的な要因の検討を行い、看板の評価に関し、評価位置との関係や看板の情報量との関係性を用いた予測式を策定した。予測を目的とする場合、A.看板特性に関しては看板に対して 1 つの値を設定し、B.視認性・判読性に関しては計算結果の数値の解釈によって閾値を設定することができれば、汎用性の高いものとなると考えた。評価地点での情報の取得量が評価視点における鉛直面照度にあたる。つまり、看板が認識できるかを測る指標である視認性よりも、看板の内容が読めるかを測る指標である判読性の方がより情報量を取得してからの判断になることが想定される。すなわち視認性よりも判読性の係数の値が大きいたことが仮説として挙げられる。

実験 1 と 2 の結果を用いて目的 A,B の妥当性を検討するとともに、既往の調査で評価した看板（実験 3）の結果を用いて予測の検証を行った。

5. 1. 係数の検討

先の実験 1, 2 の結果を合わせて検討する。4.4 にて検討した情報量に係する項目を同様に実験 1（と実験 3）の看板に関して算出した（表 12）。輝度対比 C は現在評価地点において測定した輝度分布を用いて算出しているため、看板 1 つに対して 1 つの値ではない。今後輝度対比 C の予測・算出方法についても検討を進めていく必要がある。

実験 1 と 2 に関して、評価地点ごとの平均値を算出し、Log₁₀(式)に関する回帰式（予測式）を算出した（表 13）。面光源の照度計算のアナロジーである式 8 の方が線光源の照度計算のアナロジーである式 9 よりも適合性が良いことが示された。仮説通り、視認性の係数よりも判読性の係数の値の方が大きいことが示された。実在する看板を用いた結果であることを鑑みても完全な予測式とするには決定係数がまだ低いことが示された（相関係数は 0.59~0.67 の間）。

Table 13 Coefficient results of regression analysis

Adjectives (Objective)	Square Light			Line Light		
	R ²	Coef.	Inter.	R ²	Coef.	Inter.
Discoverable	0.42	1.306	8.706	0.37	1.392	7.311
Perceivable	0.37	1.110	8.574	0.39	1.110	8.574
Legible	0.45	1.450	9.441	0.34	1.447	7.654
Comprehensible	0.45	1.312	9.166	0.35	1.319	7.573

Note: Coef. stands for coefficient, and inter. stands for intercept

5. 2. 実験 3 の値を用いた検証

予測式の検証を、既往の調査で評価した結果を用いて行った。看板測定、看板評価地点での輝度分布測定の結果などから補正係数を算出した（表 12）。アルファベットのみの看板 1 つに対して 2 地点（x, y ; 1.04m, 3m ; 1.04m, 10m）での 13 名（内 5 名男性）の評価結果を用いた。また地点ごと、評価項目ごとの被験者平均値（実測値）と予測式を用いた予測値（被験者視点高さを用いて算出した値^{注 10}）の地点ごとの平均値を図 7 に図示した。誤差の標準偏差は 0.563 であり、整数値をとる段階尺度の評価値を予測する式としては大きく外れないことが分かった。

Fig. 7 Measured Value and Predictive Value of exp.3

6. まとめ

照度計算と視覚情報取得方法に関する類似性から看板の視認性・判読性に関する予測を検討した。まずは類似性を確認するため、視認性・判読性と距離、看板面の見た目の大きさとの関係性を明らかにする実験 1 を行った。看板を面光源に見立てた場合と線光源の場合を検討した。いずれの場合も指標としての可能性が示された。次に看板の情報量の違いを検討するため、11 の看板を対象に実験 2 を行った。実験 1 で有用だった指標の有用性を確認したのち、看板の情報量に影響を与えると思われる輝度対比、文字数、文字形状に関する補正係数を検討し、予測式を策定した。決定係数は 0.45 程度とまだ低いため、他の要因に関する検討を引き続き行う必要があるが、実在する看板という攪乱要因が多い対象においても有用性が確認できたことと照度計算のアナロジーを用いて看板の視覚情報

取得可能性が示されたことの意義は大きい。しかし、現場実験の結果を用いての立式・検証であるため、実験 1～3 にて用いた評価対象の条件内での適応となる。今後は適応範囲を拡大させるべく検討を重ね、他の指標である誘目性に関する検討も進める。

謝辞

本研究は、東急不動産株式会社、株式会社東急不動産 R&D センターとの共同研究で行いました。また、実験 1 に関しては東京大学大学院工学系研究科を平成 29 年度に終了した川崎萌子氏、実験 2 に関してはお茶の水女子大学を平成 29 年度に卒業した奥平い氏にご尽力いただきました。謝意を示してここに記します。

注

- 注1) 点光源からの直接照度は $E = I \cos \theta / r^2$ と規定される。面光源の場合は面積があるため、光度ではなく、輝度で規定される必要がある。微小面積 dS を用いた光度と輝度との関係式 ($L = dI / dS \cos \theta$) から式 1 が導かれる。
- 注2) 一般的には視認性は「見やすさ」を用いて評価されるが、文字の読みやすさとの混同を懸念し看板の知覚しやすさを示すであろう「見つけやすさ」とした。すでに場所を提示されている看板に対する評価であるため妥当であると考えた。
- 注3) 各地点の座標をそれぞれの看板中央と床面との交点を原点として記載する(附表 1)。

Attached Table 1 Coordinate of each evaluation points (exp1)

Evaluation no.	Sign no. 1		Sign no. 2	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
1	0.00	9.18	0.00	6.15
2	0.00	15.01	0.00	14.51
3	5.24	17.57	5.94	4.61
4	8.26	9.98	12.38	2.39
5	1.77	10.38	0.32	4.60
6	1.77	18.58	0.32	12.80
7	1.77	26.78	0.32	21.00
8	1.77	34.98	0.32	29.20
9	1.77	43.18	0.32	37.40
10	1.77	51.38	0.32	45.60
11	1.77	59.58	11.39	8.70
12	7.11	22.68	17.59	13.80
13	-	-	25.64	20.50

注4) 算出した数値の定義式を附表 2 に記す。

Attached Table 2 Definitions of calculated values

Items	Icon	Calculation
Horizontal Distance	r_{2d}	$\sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2)}$
Spatial Distance	r_{3d}	$\sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)}$
Cosine of Horizontal Angle	$\cos \theta_H$	$\frac{\Delta Y}{\sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2)}}$
Cosine of Elevational Angle	$\cos \theta_E$	$\frac{\sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2)}}{\sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)}}$
Cosine of Angle between the visual point and V_N	$\cos \theta_S$	$\frac{\Delta Y}{\sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)}}$

注5) なお、距離の二乗の逆数を計算した結果との 4 形容詞との検定の結果を附表 3 にまとめる。

Attached Table 3 Results of ANOVA of exp. variables exp.1 (p-values)

Adjectives	$\frac{1}{r_{2d}^2}$	$\frac{1}{r_{3d}^2}$
Discoverable	0.015	0.012
Perceivable	0.024	0.019
Legible	0.009	0.007
Comprehensible	0.007	0.005

注6) 実験 2 の分散分析の結果を附表 4 に記す。

Attached Table 4 Results of ANOVA of exp. 2

Adjectives	Subject		Evaluation points	
	F-value	p-value	F-value	p-value
Discoverable	3.350	<0.0001	11.026	<0.0001
Perceivable	4.865	<0.0001	7.459	<0.0001
Legible	2.093	<0.0001	17.261	<0.0001
Comprehensible	3.895	<0.0001	8.794	<0.0001

注7) 実験 2 の生データを用いた分散分析の結果を記す。実験 1 同様に実験要因が有用であったことを示す。

Attached Table 5 Results of ANOVA of exp. variables exp.2 (p-values)

Adjectives	r_{2d}	r_{3d}	$S \cos \theta$	$\frac{S \cos \theta}{r^2}$	Line light
Discoverable	0.003	0.003	<0.0001	0.002	0.467
Perceivable	0.003	0.003	0.0004	0.034	0.748
Legible	0.968	0.986	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Comprehensible	0.215	0.208	<0.0001	<0.0001	0.004

注8) Baumer 社製 CCD カメラ (TXG13 c、1392×1040、20fps、140 万画素) に Edmund Optics 社製フィッシュアイレンズ (焦点距離 1.4 mm 左右・上下画角 185°) を装着し、被験者帰宅後に視点位置にて撮影。露出時間の異なる 16 条件で撮影された (等立体角射影) 複数の画像から各点の輝度値を算出するソフトを用いた。

注9) 基準とする Century フォントの占有率の結果を示す。

Attached Table 6 Occupancy Rate (%) of Base Font: Century

	A	E	I	O	U
Capital Letters	21.9	33.5	30.5	28.8	25.5
Small Letters	34.9	33.7	24.7	33.4	31.3

注10) 照度計算のアナロジーが示されたため、照明シミュレーションを用いて計算した。Dial 社の Dialux ver 4.12 を用いて 3D モデル (壁・床・天井・柱などの構造体) を作成し、直接照度のみを検討するため、内装材はすべて反射率 0% とした。看板の設置位置に看板と同様の大きさの面光源もしくは看板を設置し、評価地点における看板面方向を法線とした面に対する鉛直面照度 (評価者平均高さ) を算出した。評価地点と看板面との距離を考えて (遠い地点でも数 lux 確保できるように)、均等拡散光源の I を 1,000,000 倍した。

参考文献

- Yuki Akizuki, et al: Setting Conditions of Signs in Escape Routes by Configuration Factor, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol.74 No.641, pp767-773, 2009.7. (in Japanese)
秋月有紀, 他: 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, 日本建築学会環境系論文集, 第 74 巻, 第 641 号, pp767-773, 2009.7.
- Mika Kato, et al: A Study on the Efficient Presentation Method for Information Acquisition under Many Inermingled Vision Displays, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol.73 No.631, pp1085-1091, 2008.9. (in Japanese)
加藤未佳, 他: 多数の視覚表示が混在した状況下における効率的な情報取得の為に提示手法に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 73 巻, 第 631 号, pp1085-1091, 2008.9.
- Yoshihiko Tabuchi and Hajimu Nakamura: Visual requirements for legibility and readability of visual signs, J. Illum. Engng. Inst. Jpn., Vol.76 No.1, pp8-12, 1992.1. (in Japanese)
田淵義彦, 中村肇: サインの視覚的所用条件, 照明学会誌, 第 76 巻, 第 1 号, pp8-12, 1992.1.
- Hirate, K.: Kenchikuhikarikankyou shikankyou (Architectural Lighting Environment/ Visual Environment), Risuukougakusya, 2011. 11 (in Japanese).
平手小太郎: 建築光環境・視環境, 理工学社, pp186-187, 2011.11.
- Tanaka, S., et al: Saishinkenichikukankyoukougaku (Latest Architectural Environmental Engineering), Inouesyojin, 2014. 2 (in Japanese)
田中俊六ら: 最新建築環境工学, 改訂 4 版, 井上書院, pp119-120, 2014.2.

RESEARCH ON VISUAL INFORMATION ACQUISITION OF SIGNBOARD IN SHOPPING MALL USING ANALOGY WITH ILLUMINANCE CALCULATION

Focusing on visibility and legibility

Miki KOZAKI^{*1}, *Asuka ARIMA*^{*2}, *Marina NISHIKAWA*^{*3}
and Kotaroh HIRATE^{*4}

^{*1} Assist. Prof., Faculty of Core Research, Natural Science Division, Ochanomizu Univ., Dr.Eng.

^{*2} Dept. of Arch., School of Eng., The Univ. of Tokyo, B.Eng.

^{*3} Dept. of Arch., School of Eng., The Univ. of Tokyo, M.Eng.

^{*4} Prof., Dept. of Arch., School of Eng., The Univ. of Tokyo, Dr.Eng.

Many studies has been done regarding signboards and its visibility and legibility, especially in the fields of traffic and mobility. This study focused on visibility and legibility of a signboard in shopping mall, and its predictive equation using analogy with illuminance calculation. First, the relationship was cleared into five aspects (similarities). 1. As the distance between the light source and the measured point increases, the illuminance decreases. Likewise, as the distance between the signboard and the viewpoint increases, the visibility and the legibility decreases. 2. Like the luminance of the light source is defined with the product of the cosine and the area of the light source, the appearance area of the signboard is product of the cosine and the area of the signboard. 3. When there is angle between normal vector of the light source and the normal of the measured point, cosine law is applied. Likewise, the information acquisition will be difficult if the person is looking at the different direction. 4. Like quantity of light differs by the light source, the amount of information one signboard holds differs. 5. When there is an obstacle between the light source and the measured point, the direct illuminance will be 0. Likewise, when there is an obstacle between the signboard and the viewer, the information acquisition will not proceed. This research focuses on the case where the viewer is looking towards the signboard, aspect 3 and 5 will not be considered.

Predictive equation was derived using analogy with illuminance calculation. Experiment 1 was held to prove the analogy, using square light equation and line light equation, in other words, testing aspects 1 and 2. Targeting two signboards, 25 evaluation points were selected, and in average 20 subjects evaluated 7 rating scale on “discoverable”, “perceivable”, “legible” and “comprehensible.” As a result, aspects 1 and 2 were proven, and both equations were shown positive.

Experiment 2 was done to find luminance or luminous intensity that stands for the amount of information one signboard holds, in short proving aspect 4. Targeting 11 signboards, each from two or three evaluation points were selected (in total 24 points), and 20 subjects evaluated using same method as experiment 1. Factors that previous studies pointed out to be related to the visibility were considered. As a result, number of letters, ratio of luminance differences and font factor were plugged into the predictive equation. In the case of square light formula seems to be more fitted than that of the line light formula.

Using the result of both experiment 1 and 2, predictive equations for each adjectives were derived. Using the result of experiment that was previously done, the verification of the equation was done. The experiment 3 targeted one signboard from 2 evaluation points, evaluated by 13 subjects using the same method. As a result, the standard deviation of the error was 0.56. Considering that rating scale is an integer, the equation was roughly verified and shown that is useful. Further study will be done to improve the predictive equation. In addition, the left over aspects (2 and 5) will be proven in the next paper regarding noticeability.

(2018年3月10日原稿受理, 2018年9月14日採用決定)