

円筒表面に知覚される明暗の境界

窓際での人の顔のモデリングに関する研究 その4

BOUNDARY BETWEEN LIGHT AND SHADE AREAS PERCEIVED
ON CYLINDER SURFACE

Modelling of human face at a window Part 4

村上泰浩*, 小林朝人**, 矢野 隆***

Yasuhiro MURAKAMI, Asato KOBA YASHI and Takashi YANO

The proportion of the light and shade areas of the face is very important when the modelling is evaluated. It is necessary to investigate the features of the boundary between perceived light and shade areas and the relationship between the boundary position and the luminous quantities. An experiment was carried out in which the subjects judged the boundary position of the light and shade areas on a cylinder illuminated from one direction. It was found that the observation position (angle) and the cylindrical size did not affect the boundary position perceived on the cylinder surface. The angle at which the boundary was found was consistent with that showing the largest ratio of luminance at successive two points on the cylinder surface.

Keywords: modelling, at a window, luminance, illuminance, cylinder

モデリング, 窓際, 輝度, 照度, 円筒

1. はじめに

筆者らは教室や事務室における昼光照明計画を考える上で重要な要素の一つである窓際における人の顔の見え方に関する実験・研究を行い、窓際での人の顔のモデリング評価について、その評価指標の抽出を目的の一つとして検討を行ってきた^{1), 2), 3)}。既報の結果として、窓際の人の顔のモデリング評価はモデリング評価によく用いられるベクトル・スカラー比では説明がつかない、窓に平行に向いたモデルを窓に平行な向きから見た場合には、モデリング評価値と半円筒面照度比(窓向き半円筒面照度/室内向き半円筒面照度)との相関が高い¹⁾。モデルの向き、被験者の位置(窓との角度)が異なる場合には、評価指標としてモデルの位置での窓からの入射光量、室内向きからの入射光量およびモデルを見る方向からの入射光量の3つに関する測光量を考えなければならない²⁾。モデルの顔に生じる明暗状況に関わると思われるモデルの位置での方位別鉛直面照度分布の分析・検討が必要である³⁾等の知見が得られた。

モデルの顔に生じる明暗状況に関わる研究として、神阪^{4), 5), 6)}は曲面である人の顔に生じる明暗状況を入射光量の減衰特性に着目して考察している。円筒を照らした場合に、光が当たる明るい部分と光が当たらない陰のうち、明部分には入射角余弦法則により照度減少が起こり、光源側の最明部からしだいにぼかされながら陰に至

る明部領域に発生した照度減少部分を“カゲリ(Shading)”と呼んでいる⁴⁾。このカゲリ特性を照度の入射角余弦法則により解析し、明暗ぼかし指数^{4), 5)}およびモデリング指数⁶⁾を導きモデリング評価への応用を提案しているが、窓際でのモデリングについては言及していない。

モデルの顔に生じる明暗状況をより単純な知覚される明暗の面積割合で捉えるためには、明暗の境界がどのような位置に知覚されるのか、また、その明暗の境界位置と測光量にどのような関係があるのかを探る必要がある。

2. 円筒面に生じる明暗境界位置(角度)判断実験

図-1のように、窓面によって照らされた円筒をある方向から見た場合その表面に窓側の明るい部分と室内側の暗い部分が見える。そこには明部分と暗部分の境界が縦のラインとして存在すると思われるが、その位置を明確に説明する報告は見あたらない。神阪も円筒に生じる知覚上の明暗の境界位

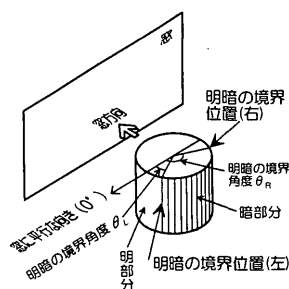


図-1 円筒面に生じる明暗

* 崇城大学工学部建築学科 助教授・博士(工学)
** 崇城大学工学部建築学科 教授・工博
*** 熊本大学工学部環境システム工学科 教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Sojo Univ., Dr. Eng.
Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Sojo Univ., Dr. Eng.
Prof., Dept. of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kumamoto Univ., Dr. Eng.

表-1 実験条件

	実験種類				
	実験Ⅰ	実験Ⅱ	実験Ⅲ	実験Ⅳ	実験Ⅴ
実験室	暗室	暗室	暗室	内装無彩色の無窓室	内装無彩色の無窓室
光源、人工窓の大きさ(mm)	投光器(タイプⅠ) 横1260×縦258	投光器(タイプⅡ) 横258×縦1260	投光器(タイプⅢ) 横640×縦560	人工窓(前面アクリル板) 横1600×縦1200	人工窓(前面アクリル板) 横1600×縦1200
蛍光灯数	40w×2	40w×2	20w×4	40w×28	40w×28
実験照度あるいは窓面輝度	・500[lx] ・1500[lx]	・500[lx] ・1500[lx]	・500[lx] ・1500[lx]	・2000[cd/m ²] ・4000[cd/m ²] ・6000[cd/m ²]	・2000[cd/m ²] ・4000[cd/m ²] ・6000[cd/m ²]
視対象円筒	・大(直径154mm) ・小(直径116mm)	・大 ・小	・大	・大 ・小	・大
被験者の位置(窓面との角度)	・A(0°)窓と平行 ・B(30°) ・C(60°) ・D(90°)窓に垂直	・A(0°) ・B(30°) ・C(60°)	・A(0°) ・B(30°) ・C(60°)	・A(0°) ・B(30°) ・C(60°) ・D(90°)	・A(0°)
円筒と光源の距離	・80cm	・80cm	・80cm	・40cm	・40cm ・80cm ・120cm ・160cm ・200cm
組み合わせ実験条件	16条件	12条件	6条件	24条件	15条件
視距離(円筒中心)	2.0m				
被験者	16名(男13、女3)、年齢21~24歳、日常使用の眼鏡等を使用				

置については言及していない。その知覚される明暗の境界位置を測光量により特定することができるならば明暗の割合の把握に繋がり、窓際の人の顔のモデリングの評価を考える上で一つの要素に成り得るものと考えられる。そこで、1方向から照明された円筒を被験者に見せて、その明暗の境界位置を判断させる実験を行い、知覚される明暗の境界位置の特徴と測光量との関係について検討を行った。

2.1 実験装置

円柱状のスチール缶の表面につや消しの白色ケント紙(反射率82%)をしわがないように貼り、上・下面は黒色つや消し塗装をした円筒を人の頭部の大きさに似せて大(直径154mm、高さ224mm)と小(直径116mm、高さ172mm)2体作製した。各円筒表面の最下部には円筒表面における角度(光源と平行な向きを0°とする方位角)を示す1°刻みの目盛り線と10°毎の角度値を記した幅10mmのテープ状の白色の薄い紙を貼る。この円筒のいずれか1つを三脚上部から水平にせり出したアーム(つや消し黒色塗装)の先端に鉛直に取り付け、円筒が床上1.5mの位置に鉛直に宙に浮いた様な状態で支持させる。三脚及び円筒支持のためのアームは、観察側の円筒表面からの反射光への影響が最も少ない向きに設置した。

光源は、表-1に示す投光器タイプⅠ~タイプⅢと前々報²⁾で

用した人工窓である。光源は何れも調光可能な白色蛍光灯である。これらの装置を投光器タイプⅠ、Ⅱ、Ⅲは室内全面をつや消し黒色に塗装した暗室内に配置し(実験Ⅰ~Ⅲ)、人工窓は窓面に遮光を施した小室内(幅4.2m、奥行き6.5m、天井高3.0m、床、壁、天井の反射率がそれぞれ、18%、55%、73%の無彩色)に配置し実験を行った(実験Ⅳ、Ⅴ)。図-2は、実験Ⅰでの実験見取図である。投光器タイプⅡはタイプⅠの投光器の向きを90°回転させたものである。

実験Ⅰ~Ⅲにおける実験照度は、円筒を支持しているアームの先端に取り付けた小型の照度計受光部を光源の正面に向けて測定した値である。

2.2 実験方法

被験者は16名(表-1)で、実験Ⅰから実験Ⅴ毎に所定の位置に立ち、円筒表面に生じる明るい部分と暗い部分の境であると自分が判断する箇所を、レーザーポインタ(投光径約1mmの赤色のレーザー光)を使って指示する。その際、円筒下部に付けられている目盛りは別の白色の紙で覆い、被験者から目盛りは見えなくする。また、円筒への被験者の衣服、レーザーポインタ用三脚からの反射光を防ぐためにレーザーポインタの下部の三脚に黒色暗幕布が取り付けられている。実験者は、レーザーポインタで指示された位置の角度(方位角)を目盛りの覆いを剥がし読み取り記録する。これを順序効果を相殺した呈示順として、全被験者で実験条件毎に各3回行い、実験Ⅰ~Ⅴの順に全てについて実施した。

2.3 測光量の測定

実験Ⅰ~Ⅴの実験条件毎に、円筒表面の輝度及び円筒表面位置での鉛直面照度の測定を行った。輝度の測定は、各被験者の位置(高さ1.5m)から円筒表面(目盛り張り付け位置から約1.5cm上部の位置)を円筒表面の目盛りに従って方位角5°間隔で輝度計測定視角0.1°で行った。円筒面の輝度測定可能範囲は輝度計の位置(被験者の位置)により異なり、被験者位置A(0°)の場合、方位角-75°~70°、同様にB(30°):-45°~100°、C(60°):-10°~135°、D(90°):10°~160°であった。照度の測定は、照度計受光部を実験に使用した円筒と同じ半径(円筒大:87mm、円筒小:58mm)の円周上を水平に回転移動させ、光源向き(方位角-90°)から観察側の180°の範囲について水平に5°間隔の方位別鉛直面照度を測定した。

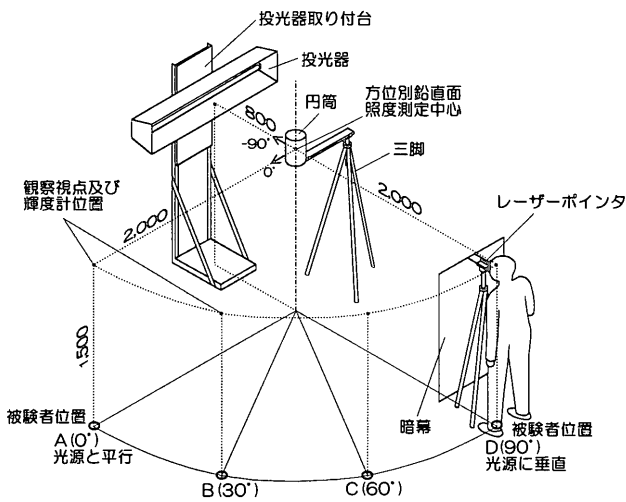


図-2 実験見取図

表-2 明暗境界位置(角度)判断結果(被験者平均値)

実験	円筒	実験照度	被験者位置	明暗境界判断角度	標準偏差	実験	円筒	窓面輝度	被験者位置	明暗境界判断角度	標準偏差	実験	円筒	窓面輝度	被験者位置	明暗境界判断角度	標準偏差				
																		実験	円筒	窓面輝度	被験者位置
実験 I	大	500 lx	A(0°)	15°	1.96	実験 IV	大	2000 cd/m ²	A(0°)	40°	3.44	実験 V	大	4000 cd/m ²	A(0°)	40°	3.17	6000 cd/m ²	A(0°)	41°	2.99
			B(30°)	15°	2.17				B(30°)	41°	4.45				B(30°)	39°	4.49		B(30°)	39°	4.49
			C(60°)	11°	1.89				C(60°)	37°	6.06				C(60°)	35°	5.56		C(60°)	35°	5.31
		D(90°)	17°	2.58	D(90°)			36°	6.18	D(90°)	36°			8.06	D(90°)	36°	7.28				
		A(0°)	17°	2.99	A(0°)			40°	4.47	A(0°)	39°			6.03	A(0°)	39°	4.49				
		B(30°)	15°	2.94	B(30°)			37°	5.12	B(30°)	39°			6.03	B(30°)	39°	4.49				
	小	1500 lx	C(60°)	12°	2.78		C(60°)	37°	6.39	C(60°)	35°		5.31	C(60°)	35°	5.31					
			D(90°)	17°	2.93		D(90°)	41°	2.99	D(90°)	36°		7.99	D(90°)	36°	7.99					
			A(0°)	18°	2.31		A(0°)	40°	3.17	A(0°)	39°		6.03	A(0°)	39°	4.49					
		B(30°)	18°	2.75	B(30°)		40°	4.47	B(30°)	39°	6.03		B(30°)	39°	4.49						
		C(60°)	14°	2.24	C(60°)		38°	3.94	C(60°)	35°	5.31		C(60°)	35°	5.31						
		D(90°)	17°	2.31	D(90°)		36°	5.37	D(90°)	36°	7.28		D(90°)	36°	7.28						
実験 II	大	500 lx	A(0°)	18°	2.31	実験 V	小	4000 cd/m ²	A(0°)	38°	6.09	実験 V	小	6000 cd/m ²	A(0°)	39°	4.49	2000 cd/m ²	A(0°)	39°	4.76
			B(30°)	18°	2.75				B(30°)	39°	4.49				B(30°)	39°	4.76		B(30°)	39°	4.76
			C(60°)	14°	2.24				C(60°)	38°	3.94				C(60°)	35°	5.31		C(60°)	35°	5.31
		D(90°)	17°	2.31	D(90°)			36°	5.37	D(90°)	36°			8.06	D(90°)	36°	7.28				
		A(0°)	19°	2.18	A(0°)			39°	5.61	A(0°)	39°			6.03	A(0°)	39°	4.49				
		B(30°)	19°	1.67	B(30°)			39°	4.38	B(30°)	39°			6.03	B(30°)	39°	4.49				
	小	1500 lx	C(60°)	15°	2.97		C(60°)	33°	6.04	C(60°)	35°		5.31	C(60°)	35°	5.31					
			D(90°)	18°	3.66		D(90°)	36°	7.99	D(90°)	36°		7.99	D(90°)	36°	7.99					
			A(0°)	17°	2.31		A(0°)	41°	2.99	A(0°)	39°		6.03	A(0°)	39°	4.49					
		B(30°)	17°	2.31	B(30°)		40°	3.17	B(30°)	39°	6.03		B(30°)	39°	4.49						
		C(60°)	12°	2.78	C(60°)		37°	5.12	C(60°)	35°	5.31		C(60°)	35°	5.31						
		D(90°)	17°	2.93	D(90°)		41°	2.99	D(90°)	36°	7.28		D(90°)	36°	7.28						
実験 III	大	500 lx	A(0°)	5°	1.43	実験 V	大	2000 cd/m ²	A(0°)	43°	4.83	実験 V	大	4000 cd/m ²	A(0°)	43°	4.83	6000 cd/m ²	A(0°)	43°	4.83
			B(30°)	5°	1.45				B(30°)	42°	5.66				B(30°)	42°	5.66		B(30°)	42°	5.66
			C(60°)	2°	2.55				C(60°)	24°	6.42				C(60°)	24°	6.42		C(60°)	24°	6.42
		D(90°)	7°	1.37	D(90°)			12°	4.31	D(90°)	12°			4.31	D(90°)	12°	4.31				
		A(0°)	7°	1.53	A(0°)			10°	4.50	A(0°)	10°			4.50	A(0°)	10°	4.50				
		B(30°)	6°	1.53	B(30°)			7°	3.50	B(30°)	7°			3.50	B(30°)	7°	3.50				
	小	1500 lx	C(60°)	4°	2.67		C(60°)	10°	3.34	C(60°)	10°		3.34	C(60°)	10°	3.34					
			D(90°)	4°	2.67		D(90°)	7°	2.94	D(90°)	7°		2.94	D(90°)	7°	2.94					
			A(0°)	5°	1.43		A(0°)	43°	4.83	A(0°)	43°		4.83	A(0°)	43°	4.83					
		B(30°)	5°	1.45	B(30°)		42°	5.66	B(30°)	42°	5.66		B(30°)	42°	5.66						
		C(60°)	2°	2.55	C(60°)		24°	6.42	C(60°)	24°	6.42		C(60°)	24°	6.42						
		D(90°)	7°	1.37	D(90°)		12°	4.31	D(90°)	12°	4.31		D(90°)	12°	4.31						

・ I～IIIの光源と円筒の距離は 80cm
 ・ IVの光源と円筒の距離は 40cm
 ・ Vの被験者位置の数値は円筒と窓との距離
 ・ 明暗境界判断角度は 0° : 光源と平行向き、-90° : 光源向きとする。

3. 結果と考察

3.1 明暗境界判断結果

各実験の実験条件毎に各被験者が明暗の境界であると判断し、指示した角度の3回の平均値を各被験者の明暗境界判断角度とし、それを全被験者で平均し少数以下を四捨五入して表-2に示す。明暗境界判断角度は実験毎に異なる値を示していることがわかる。光源と円筒との距離が同じである実験I～IVのそれぞれの実験内では、円筒の大きさ、明るさ、被験者位置による明暗境界判断角度の違いは数度と少ないが、実験Vでは円筒と光源との距離が離れるに従い変化し、その値が順に小さくなっていることがわかる。標準偏差は実験I～IIIでは小さく、実験IV、Vではそれに比べ大きくなっている。以下、明暗境界判断角度の実験条件による差異等の検討、明暗判断角度と測光量との関係についての検討を行う。

3.2 円筒の大きさによる明暗境界判断角度の違い

円筒の大きさ(径の差異)により、その明暗境界判断角度に違いがあるかどうかを、円筒大・小2つを使用した実験I、II、IVについて検討を行った。円筒の大きさを変えた同一の実験条件(26項目)における明暗境界判断角度の平均値に差が無いとしてt検定を行った。その結果、実験Iでは、実験照度500lx、1500lx共、被験者の

表-3 被験者位置の違いによる分散分析結果

実験	円筒	実験照度	有意差検定結果		実験	円筒	窓面輝度	有意差検定結果	
			全ての位置除C(60°)	除C(60°)				全ての位置除C(60°)	除C(60°)
実験 I	大	500lx	**	*	実験 IV	大	2000cd/m ²	*	*
		1500lx	**	—			4000cd/m ²	—	—
	小	500lx	**	—		6000cd/m ²	**	**	
		1500lx	**	—		2000cd/m ²	*	—	
実験 II	大	500lx	*	—	実験 IV	小	4000cd/m ²	—	—
		1500lx	—	—			6000cd/m ²	—	—
	小	500lx	—	—		—	—	—	
		1500lx	—	—		—	—	—	
実験 III	大	500lx	**	—	—	—	—	—	
		1500lx	**	—	—	—	—		

— : 有意差なし
 * : 5%有意水準 有意差あり
 ** : 1%有意水準 有意差あり

位置A(0°), B(30°), C(60°)において有意差有りであった。しかし、その他の実験IのD(90°)及び実験II、実験IVの何れの場合でも有意差は認められなかった(有意水準5%)。有意差がある場合でも、表-2に示すように、同一条件での円筒の大きさによる明暗境界判断角度の差異は最大で3°程度である。明暗境界判断角度は、円筒の大きさ(径)に左右されにくいものと考えられる。ただし、円筒の直径が大きく異なれば、円筒表面の各部位の光源からの距離の違いも大きくなり、円筒表面の各部位に入射する光量も大きく変化するため、明暗境界判断角度も異なることは予測される。

3.3 光源の明るさによる明暗境界判断角度の違い

表-2より同一実験の被験者位置が同じ場合において、光源の明るさが増すと明暗境界判断角度がわずかに1, 2°程度増加する箇所が見られる。円筒を照らす光源の光量の違いにより明暗境界判断角度に差異が認められるかどうかを、円筒への明るさを変え、その他の実験条件は同じ(29項目)ときの明暗境界判断角度の平均値に差が無いとして、実験I～IIIはt検定で、実験IV、Vは分散分析により検討を行った。その結果、何れの場合にも有意差は認められなかった。今回の実験のように一方向からの照明では、光源の大きさは変わらず光量のみが異なっても、円筒表面各部位の受ける光量は相対的に増減するためであると考えられる。光源の光量の絶対量が明暗境界判断角度へ与える影響は非常に小さいことがわかった。

3.4 円筒を見る位置(光源との角度)による明暗境界判断角度の違い

被験者位置(光源との角度)は実験I、IVでは、A(0°)、B(30°)、C(60°)、D(90°)の4ヶ所、実験II、IIIではA(0°)、B(30°)、C(60°)の3ヶ所であるが、それぞれの被験者位置で、その他の実験条件が同じ場合に明暗境界判断角度に違いが認められるかどうかの検討を分散分析により行った。その結果を表-3に示す。実験IIと実験IVでは、有意差なしの箇所が見られるが、6割以上の箇所は有意差有りとなっている。表-2の実験I～IVでの明暗境界判断角度を、被験者位置について比べてみると、実験IIでは差は殆どなく、実験I、IIIでは被験者位置C(60°)が他と比べ数度低い値を示している。実験IVでは、被験者位置C(60°)とD(90°)が他より同様に低い値を示している。実験Iと実験IVではその違いの傾向が異なることから、被験者位置がC(60°)付近で明暗境界判断角度が変化するのは不自然である。

そこで、円筒に使用したケント紙の反射特性の計測を行った。ケント紙面(平面)にプロジェクターで平行光線を種々の角度(入射角度0°、30°、45°、60°)から投光し、それぞれの場合について、ケント紙の面を中心とする1m離れた半円上から10°間隔で±80°の範囲(但し投光角度を除く)の輝度を測定した。その結果を

図-3に示す。入射角度 0° （垂直入射）では均等拡散面に近い分布を示したが、 30° 、 45° 、 60° と入射角度が大きくなるにつれて、反射光側の反射角度の大きい角度での輝度の割合が増す傾向が見られ、特に入射角=反射角よりも大きい角度での割合が高くなった。このように、今回の実験に使用した円筒表面のケント紙は、入射角度により反射特性が異なり、更に実験毎に光源の大きさが異なるため、円筒の輝度分布が見る角度により変化したものと考えられる。そのため、被験者位置により明暗境界判断角度に差異が生じたものと予想される。表-3の分散分析を被験者位置C(60°)を除いた値で計算を行う（表-3右枠）と概ね有意差は見られない。これらのことより、円筒面が均等拡散面であれば、被験者位置（光源との角度）の違いによる明暗境界判断角度の差異は殆ど無いものと推察される。

3.5 明暗境界判断角度の測光量による推定

前述までの結果から、円筒を1方向から照らした場合に生じる円筒表面の知覚される明暗の境界位置は、光源の大きさ、室内状況により標準偏差が異なるものの、個人差も小さいことから、ある物理量によりその箇所が定まるものと推測される。その明暗の境界位置（角度）は、その円筒表面の輝度分布状況に起因することは疑いない。輝度分布の特異箇所として、光源の大きさと光源と円筒の位置関係から、円筒表面の光源からの光が直接入射する範囲とそうでない部分の境界位置がまず考えられる。今回の実験では光源は1方向からによるものなので、この境である円筒への光源からの直接光が届かなくなる角度（陰になり始める角度：陰線角度と呼ぶ）を幾何学的に求めることができる。表-4は、各実験での陰線角度を求め、被験者位置A(0°)における明暗境界判断角度と共に示したものである。何れの陰線角度も明暗境界角度より大きい値を示し、また両者の差も大きく、この陰線角度は明暗境界判断角度を表しているとは考えがたい。また、明暗境界判断角度は陰線角度より常に光源側にあるものの、両者の差に規則性は見られず、陰線角度より推定することもできそうにない。

図-4は、円筒に記された方位角目盛りの直上部分を目盛りに従い 5° 間隔に測定した輝度分布状況の例を示したものである。図中には明暗境界判断角度及び陰線角度を併せて示してある。この輝度分布曲線からは明暗境界判断角度を示すような情報は得られない。

良く知られた知覚現象にマッハ・バンド(Mach bands)⁷⁾というものがあ。物理的な輝度分布とは異なる明るさ分布が知覚される現象で、マッハ・バンドは明度(輝度)勾配の不連続な変化点に出る感覚現象とされている⁸⁾。今回の実験では明確なマッハ・バンドは知覚されていないが、円筒の明暗境界の知覚も円筒に生じる輝度分布の勾配、特にその勾配が変化する箇所に関係することが予測される。しかし、図-4からはその変化の特異点を見出すことはできない。

また、“刺激が等比的に増すとき、感覚は等差的に増す”いわゆるフェヒナーの法則から、円筒表面の明暗分布を見る際にも、知覚される明暗の差には物理量（輝度等）の比が関わっていることが考えられる。このため円筒表面の方位角 5° 間隔に測定された輝度分布データから、光源側の測定開始角度より各角度毎にその隣接する一つ前の角度(5° 手前の角度)における輝度値を割り（以後、‘前角度との輝度比’と呼ぶ）、‘前角度との輝度比’を次々に計算し、測定した角度全てについて求めた。ただし測定開始角度における‘前角度との輝度比’は1とする。図-5は‘前角度との輝度比’の分布

状況(但しグラフ化にはスプライン関数による補間処理⁹⁾を行っている)を図-4と同じ実験条件について示したものである。図-4からは容易には想像出来ない輝度分布状況の細部を示している。‘前角度との輝度比’が大きいことは、円筒表面の隣接する部位における輝度の変化が大きい箇所を示していることになる。図中に示す縦線は各分布での‘前角度との輝度比’の最も大きい箇所(角度)を示す(以後‘前角度との輝度比’が最大となる角度と呼ぶ)。それぞれの実験で得られた‘前角度との輝度比’が最大となる角度は図中に

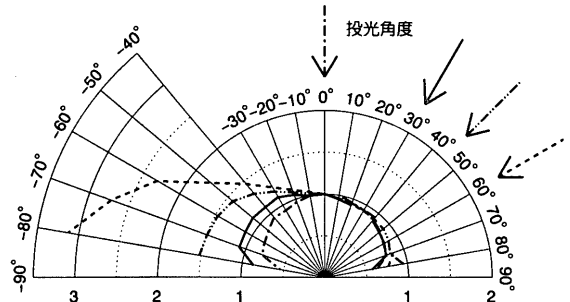


図-3 ケント紙の反射特性（法線方向(0°)を1とした相対値)

表-4 陰線位置(角度)と明暗境界判断角度

実験	円筒	光源と円筒との距離	陰線角度	明暗境界判断角度	実験	円筒	光源と円筒との距離	陰線角度	明暗境界判断角度	
I	大	80cm	32.8°	17°	IV	小	40cm	59.7°	39°	
	小	80cm	34.5°	19°				40cm	57.8°	41°
II	大	80cm	3.8°	-1°	V	大	80cm	40.6°	20°	
	小	80cm	5.8°	-1°				120cm	30.2°	11°
III	大	80cm	16.0°	7°				160cm	23.8°	9°
IV	大	40cm	57.8°	40°				200cm	19.5°	7°

網掛け部分は図-4,5に使用した実験条件

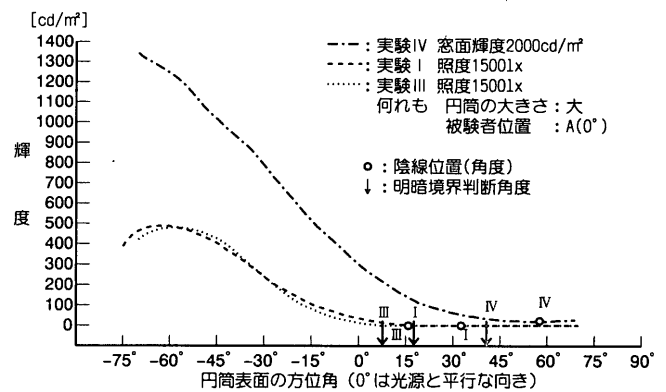


図-4 円筒表面の輝度分布

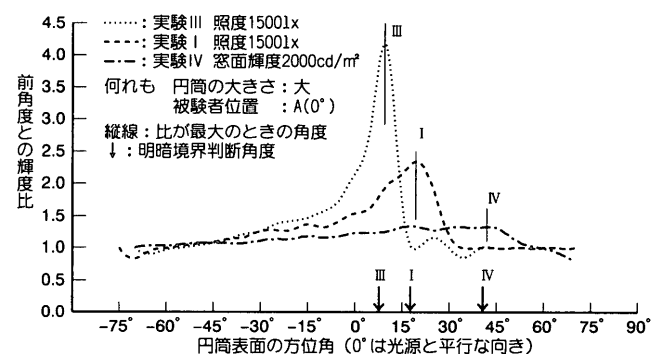


図-5 前角度との輝度比の分布

↓で示す明暗境界判断角度と非常に近い値を示している。全実験条件において、‘前角度との輝度比’が最大となる角度を求めたものを表-5の(ロ)欄に示した。(イ)内は明暗境界判断角度との差を示す。10°以上の差がある箇所も見られるが、その差の大半は数度以内である。差の全平均も0.7°と小さいことから、円筒表面の輝度分布から求めた‘前角度との輝度比’が最大となる角度は、円筒を知覚して得られた明暗境界判断角度と一致すると考えて差し支えないものと思われる。

均等拡散面では輝度と照度には比例関係が成り立つので、円筒表面が均等拡散面とすれば、円筒表面上の方位別照度分布は上述の輝度分布と同様の变化を示すことになる。そこで、図-5の‘前角度との輝度比’の分布状況と同様に、円筒の照度分布データ(各円筒の外周上で5°間隔の方位別鉛直面照度)から各角度毎にその一つ前の角度における照度値を割り(以後、‘前角度との照度比’と呼ぶ)‘前角度との照度比’分布状況を求め、その値の最も大きい箇所(角度)を求めた。その結果を表-5の(ニ)欄に示す。明暗境界判断角度との差は7°以内で、差の全平均値も0.6°と小さい。円筒外周上の方位別鉛直面照度分布から求めた‘前角度との照度比’が最大となる角度によっても、輝度の場合と同様に円筒における明暗境界判断角度を予測することが可能であると思われる。

円筒面の輝度分布及び照度分布は連続的に変化するが、上述の前角度との輝度比’および‘前角度との照度比’が最大となる角度は円筒の方位角5°間隔の測定結果から求めたものである。測定間隔の違いによる‘前角度との輝度比’の最大となる角度への影響を調べるために、実験I、II、IIIの被験者位置A(0°)、B(30°)における円筒輝度分布を測定間隔1°で測定を行い、‘前角度との輝度比’が最大となる角度を求めた。その結果、測定間隔5°との比較を行ったところ最大で3°の差であり、‘前角度との照度比’が最大となる角度は測定間隔(5°と1°)による違いはないものと思われる。

次に、輝度及び照度の5°間隔の測定データから、測定開始角度から15°間隔のデータだけを用いて、輝度および照度の15°間隔による前角度との比が最大となる角度を求めた。その結果を表-5の(ハ)(ホ)欄に示す。5°間隔での値と比べ僅かに大きな値を示す傾向が見られるがほぼ同じ値を示すことから、15°間隔の測定データからも円筒の明暗境界判断角度を予測することが可能であると考えられる。

また、既報^{1),2)}における実験では、モデルの位置での方位別鉛直面照度測定は中心から15mmを半径とする円周上で行った。表-5の(ヘ)(ト)欄に円筒中心位置で半径15mmの円周上における方位別鉛直面照度の測定データより求めた‘前角度との照度比’が最大となる角度を示す。円筒と同径の円周上での結果(表-5(ニ)(ホ))と比べ、明暗境界判断角度との差が大きくなっているが、その差は十分小さいことから、中心から15mmを半径とする円周上の方位別鉛直面照度分布からも、若干の精度は落ちるものの、円筒の明暗境界判断角度を予測する事が可能であると考えられる。

以上のことから、窓のような面光源により1方向から照らされた垂直に立つ円筒を見て、知覚される明暗の境界位置(円筒面の方位角)を測量量(円筒表面の輝度、照度分布)により予測・推定することが可能であることがわかった。人の頭部・顔の形状は必ずしも円筒とはいえないが、頭部の内、顔の部分を半円筒と見なせば、あ

表-5 前角度との比の最大値による明暗境界角度

実験	円筒	実験照度窓面輝度	被験者位置、円筒との距離	明暗境界判断角度	(イ)		(ロ)		(ハ)		(ニ)		(ホ)		(ヘ)		(ト)		
					前角度との輝度比の最大となる角度		前角度との照度比の最大となる角度		前角度との輝度比の最大となる角度		前角度との照度比の最大となる角度		同左		半径15mm				
					5°ビッチ	15°ビッチ	5°ビッチ	15°ビッチ	5°ビッチ	15°ビッチ	5°ビッチ	15°ビッチ	5°ビッチ	15°ビッチ	5°ビッチ	15°ビッチ			
実験 I	大	500lx	A(0°)	15°	20°(5)	23°(8)	(3)	(1)	(3)	(4)	18°	16°	18°	19°	(4)	(4)	(8)	(8)	
			B(30°)	15°	20°(5)	21°(6)	(3)	(1)	(3)	(4)	(7)	(-4)	(7)	(7)	(4)	(4)	(8)	(8)	
			C(60°)	11°	11°(0)	19°(8)	(7)	(-1)	(-1)	(1)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	
			D(90°)	17°	25°(8)	33°(16)	(1)	(-1)	(-1)	(1)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	
			A(0°)	17°	20°(3)	18°(1)	(0)	(-1)	(-1)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	
			B(30°)	15°	20°(5)	17°(2)	(2)	(1)	(1)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	
	小	500lx	A(0°)	18°	25°(7)	28°(10)	(3)	(1)	(0)	(0)	21°	19°	18°	18°	(0)	(0)	(0)	(0)	
			B(30°)	18°	20°(2)	20°(2)	(3)	(1)	(1)	(0)	(0)	(5)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	
			C(60°)	14°	24°(10)	12°(-2)	(7)	(2)	(2)	(4)	(2)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	
			D(90°)	17°			(4)	(2)	(2)	(0)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	
			A(0°)	19°	21°(2)	20°(1)	(0)	(2)	(2)	(0)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	
			B(30°)	19°	20°(1)	20°(1)	(0)	(2)	(2)	(0)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	
実験 II	大	500lx	A(0°)	-2°	0°(2)	5°(7)	(-5)	(2)	(0)	(2)	-7°	0°	-2°	0°	(1)	(1)	(2)	(2)	
			B(30°)	-1°	1°(2)	5°(6)	(-6)	(1)	(-1)	(-1)	(-1)	(-1)	(-1)	(-1)	(-1)	(-1)	(-1)	(-1)	
			C(60°)	-2°	4°(6)	5°(7)	(-5)	(2)	(2)	(0)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)		
			A(0°)	-1°	0°(1)	5°(6)	(-5)	(1)	(-3)	(1)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	
			B(30°)	-1°	0°(1)	5°(6)	(-5)	(1)	(-3)	(1)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	
			C(60°)	-2°	0°(2)	3°(5)	(-4)	(2)	(2)	(0)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	
	小	500lx	A(0°)	-2°	4°(6)	5°(7)	(-3)	(2)	(0)	(2)	-5°	0°	-2°	0°	(2)	(2)	(2)	(2)	
			B(30°)	-2°	4°(6)	7°(9)	(-3)	(2)	(0)	(2)	(-2)	(0)	(0)	(0)	(2)	(2)	(2)		
			C(60°)	-3°	0°(3)	3°(6)	(-2)	(3)	(1)	(3)	(1)	(3)	(1)	(3)	(1)	(3)	(1)		
			A(0°)	-1°	0°(1)	5°(6)	(-4)	(1)	(-3)	(1)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	
			B(30°)	0°	0°(0)	5°(5)	(-5)	(0)	(-4)	(0)	(-4)	(-4)	(-4)	(-4)	(-4)	(-4)	(-4)	(-4)	
			C(60°)	-1°	1°(2)	3°(4)	(-4)	(1)	(-3)	(1)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	(-3)	
実験 III	大	500lx	A(0°)	5°	10°(5)	18°(13)	(-4)	(-4)	(2)	(9)	1°	1°	7°	14°	(2)	(9)	(12)	(12)	
			B(30°)	5°	9°(4)	10°(5)	(-4)	(-4)	(-1)	(-1)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)		
			C(60°)	2°	9°(7)	8°(6)	(-1)	(-1)	(-1)	(-1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)		
			A(0°)	7°	9°(2)	8°(1)	(-5)	(-7)	(-1)	(-1)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)		
			B(30°)	6°	9°(3)	14°(8)	(-4)	(-6)	(0)	(0)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)		
			C(60°)	4°	9°(5)	7°(3)	(-2)	(-2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)		
	小	2000 cd/m²	A(0°)	40°	42°(2)	42°(2)	(0)	(2)	(3)	(3)	40°	42°	43°	43°	(2)	(2)	(2)	(2)	
			B(30°)	41°	37°(-4)	36°(-5)	(-1)	(1)	(2)	(2)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)		
			C(60°)	37°	45°(8)	33°(-4)	(3)	(5)	(6)	(6)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)			
			D(90°)	36°	40°(4)	37°(1)	(4)	(6)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)			
			A(0°)	40°	40°(0)	43°(3)	(-1)	(0)	(1)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)			
			B(30°)	40°	44°(4)	40°(0)	(-1)	(0)	(1)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)			
実験 IV	大	4000 cd/m²	A(0°)	37°	37°(0)	35°(-2)	(2)	(3)	(4)	(6)	39°	40°	41°	43°	(3)	(6)	(6)	(6)	
			B(30°)	37°	41°(4)	42°(5)	(2)	(3)	(4)	(6)	(2)	(3)	(4)	(6)	(6)	(6)			
			C(60°)	41°	38°(-3)	43°(2)	(-4)	(-1)	(1)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)				
			A(0°)	40°	40°(0)	37°(-3)	(-3)	(0)	(-4)	(-3)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)			
			B(30°)	40°	40°(0)	35°(-3)	(-3)	(-1)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)			
			C(60°)	38°	40°(2)	35°(-3)	(-1)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)			
	小	2000 cd/m²	A(0°)	39°	26°(-13)	43°(4)	(1)	(3)	(4)	(4)	40°	42°	43°	43°	(4)	(4)	(4)	(4)	
			B(30°)	39°	30°(-9)	35°(-4)	(1)	(3)	(4)	(4)	(7)	(9)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)		
			C(60°)	33°	25°(-8)	38°(5)	(7)	(9)	(10)	(10)	(7)	(9)	(10)	(10)	(10)	(10)			
			D(90°)	36°	25°(-11)	37°(-1)	(4)	(6)	(7)	(7)	(4)	(6)	(7)	(7)	(7)	(7)			
			A(0°)	38°	30°(-8)	43°(5)	(0)	(4)	(3)	(5)	(3)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)			
			B(30°)	39°	31°(-8)	37°(-2)	(-1)	(3)	(4)	(4)	(3)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)			
実験 V (視線は垂直)	大	2000 cd/m²	40cm	41°	45°(4)	44°(3)	40°(-1)	42°(1)	43°(2)	43°(2)	80cm	20°	18°(-2)	19°(-1)	23°(3)	25°(5)	23°(3)	27°(7)	
			120cm	11°	5°(-6)	10°(-1)	12°(1)	11°(0)	12°(1)	11°(0)	12°(1)	14°(3)	14°(3)	14°(3)	14°(3)	14°(3)			
			160cm	9°	10°(1)	8°(-1)	4°(-5)	6°(-3)	5°(-4)	5°(-4)	5°(-4)	5°(-4)	5°(-4)	5°(-4)	5°(-4)	5°(-4)			
			200cm	7°	8°(1)	3°(-4)	1°(-6)	0°(-7)	4°(-3)	0°(-7)	4°(-3)	0°(-7)	0°(-7)	0°(-7)	0°(-7)	0°(-7)			
			40cm	42°	45°(3)	44°(2)	37°(-5)	40°(-2)	41°(-1)	43°(1)	80cm	24°	16°(-8)	20°(-4)	20°(-4)	24°(0)	21°(-3)	28°(4)	
			120cm	12°	12°(0)	16°(4)	13°(1)	13°(1)	14°(2)	14°(2)	160cm	10°	10°(0)	12°(2)	3°(-7)	6°(-4)	5°(-5)	10°(0)	
	200cm	7°	0°(-7)	3°(-4)	0°(7)	1°(-6)	4°(-3)	4°(-3)	200cm	7°	0°(-7)	3°(-4)	0°(7)	1°(-6)	4°(-3)	4°(-3)			
	小	6000 cd/m²	40cm	43°	45°(2)	44°(1)	37°(-6)	40°(-3)	42°(-1)	43°(0)	80cm	22°	20°(-2)	20°(-2)	24°(2)	28°(6)	27°(5)	28°(6)	
			120cm	12°	12°(0)	16°(4)	11°(-1)	12°(0)	13°(1)	15°(3)	160cm	10°	9°(-1)	5°(-5)	5°(-5)	7°(-3)	7°(-3)	8°(-2)	
			200cm	7°	6°(-1)	3°(-4)	5°(-2)	3°(-4)	4°(-3)	4°(-3)	200cm	7°	6°(-1)	3°(-4)	5°(-2)	3°(-4)	4°(-3)	4°(-3)	
			明暗境界判断角度との差の平均および標準偏差		0.7°	2.5°	0.6°	1.3°	1.8°	3.1°	4.69	4.34	3.56	3.43	3.25	3.53	3.53	3.53	3.53

網掛け部は図-4,5に使用した実験条件

る方向を向いて立つモデルをある位置(窓に対する角度)から見た場合のモデルの顔に生じる明暗の見かけの面積は明暗の境界角度がわかれば幾何学的に計算することができる。円筒に知覚される明暗の境界位置(角度)は測光量により予測できることが判明したことから、人の顔の形状を半円筒と見なした場合、モデルの顔に生じる明暗の見かけの面積をモデルの位置での測光量より求めることが可能となる。既報その2²⁾において、実験条件毎のモデルの顔写真から求めた明暗面積比とモデリング評価値との相関が見られた知見、既報その3³⁾において、モデルの位置での方位別鉛直面照度分布の分析の必要性の指摘などから、測光量(モデルの位置での方位別鉛直面照度分布)から予測することができる円筒の明暗の境界角度とそれより導かれる明暗の見かけの面積は、窓際での人の顔のモデリング評価指標への応用が可能であると考えられる。

4. 結び

モデルの向き、観察位置によりモデルに生じる明暗の見かけの面積割合はモデリング評価に影響があると考え、1方向から照らされた円筒面を被験者に見せ、明暗の境界が知覚される箇所を実験で求め、その箇所を測光量から推定することが可能であることを示した。結果を要約すると

- (1) 1方向から照らされた円筒に生じる明暗の境界を知覚する位置(明暗境界判断角度)は円筒の大きさ、観察位置(光源に対する角度)による違いはほとんど無いものと思われる。
- (2) 明暗境界判断角度は円筒表面の方位角毎の輝度分布から逐次求めた前角度との輝度比の最も大きな値を示した角度(‘前角度との輝度比’が最大となる角度)とほぼ一致することが分かった。

(3) 円筒位置での方位別鉛直面照度分布から求めた‘前角度との輝度比’が最大となる角度も輝度の場合と同様な値を示すことから、明暗境界判断角度を方位別鉛直面照度分布から予測できることが分かった。

人の顔の形状を半円筒と見なした場合、モデルの顔に生じる明暗の見かけの面積は明暗の境界角度から幾何学的に求めることができる。測光量(モデルの位置での方位別鉛直面照度分布)から予測することができる円筒の明暗の境界角度と、その境界角度を使って導かれる明暗の見かけの面積は、窓際での人の顔のモデリング評価指標への応用が可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 村上泰浩, 小林朝人, 矢野隆: 窓際への入射光分布の実測調査と窓に平行に見るモデリング評価実験 窓際での人の顔のモデリングに関する研究 その1, 日本建築学会計画系論文集, 第460号, pp.11~19, 1994.6
- 2) 村上泰浩, 小林朝人, 矢野隆: 窓に対して異なる角度から見たモデリング評価実験 窓際での人の顔のモデリングに関する研究その2, 日本建築学会計画系論文集, 第515号, pp.33~39, 1999.1
- 3) 村上泰浩, 小林朝人, 矢野隆: 現実の居室でのモデリング評価実験 窓際での人の顔のモデリングに関する研究 その3, 日本建築学会計画系論文集, 第536号, pp.13~19, 2000.10
- 4) 神阪祥: カグリ特性と明暗ぼかし指数を照明モデリングの要素に導入する試案, 照明学会雑誌, pp.652~660, 1976
- 5) 神阪祥: 複数点光源のカグリ特性, 照明学会雑誌, pp.279~283, 1977
- 6) 神阪祥: 照明方法とカグリ, 照明学会雑誌, pp.391~396, 1979
- 7) 例えば, 池田光男: 視覚の心理物理学, 森北出版, pp.133~140, 1975
- 8) 日本色彩学会編: 新編色彩科学ハンドブック(第2版), p.370, 1998
- 9) 例えば, 黒瀬能幸他: FORTRAN80 科学技術計算ライブラリー, pp.130~132, 1984

(2000年10月30日原稿受理, 2001年3月27日採用決定)