

窓際での人の顔のモデリングに関する研究

2001 年 3 月

熊本大学大学院自然科学研究科

村 上 泰 浩

目 次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景と目的	1
1.2 本研究に関連した従来の研究と本研究の意義	3
1.2.1 モデリングに関する研究	3
1.2.2 窓際でのモデリングに関する研究および窓際の光環境調査	8
1.2.3 空間照度測定装置	9
1.3 本論文の構成	11
【参考文献】	13
第2章 窓際への入射光分布の実測調査	16
2.1 研究の目的	16
2.2 測定装置	16
2.3 測定方法及び測定対象室	18
2.4 測定結果	20
2.5 結論	23
【参考文献】	24
第3章 窓に平行に見るモデリングの評価実験	25
3.1 研究の目的	25
3.2 窓際での人の顔のモデリングの評価実験 (窓に平行に見るモデリングの評価実験)	25
3.2.1 実験方法	25
3.2.2 結果	27
3.2.3 考察	29
(1) 窓際のモデリングの鉛直面照度比による検討	29
(2) 窓際のモデリングの半円筒面照度比による検討	30
(3) 照度比の出現頻度による検討	32
(4) 窓際のモデリングのベクトル・スカラー比による検討	33
3.3 結論	35
【参考文献】	36

第4章 窓に対して異なる角度から見たモデリング評価実験	37
4.1 研究の目的	37
4.2 窓際での人の顔のモデリングの評価実験	
(窓に対して異なる角度から見た場合)	37
4.2.1 実験方法	38
4.2.2 結果	41
(1)窓際のモデリングの半円筒面照度比による検討	43
(2)窓際のモデリングの被験者の位置(窓との角度)	
およびモデルの向きによる検討	44
(3)窓際のモデリングの顔面輝度による検討	45
(4)窓際のモデリングの空間照度による検討	46
(5)窓際のモデリングの顔に生じる明暗による検討	48
(6)明るさの知覚量による検討	49
4.2.4 窓際のモデリングの重回帰分析による検討	50
4.4 結論	53
【参考文献】	54
第5章 現実の居室でのモデリング評価実験	55
5.1 研究の目的	55
5.2 実際の窓を使った窓際での人の顔のモデリングの評価実験	55
5.2.1 実験室	56
5.2.2 モデル	56
5.2.3 測光量の測定	57
5.2.4 被験者および実験方法	57
5.3 結果と考察	59
5.3.1 測光量と天候	59
5.3.2 光環境条件に関する実験範囲の前報までとの比較	63
5.3.3 評価値	63
5.3.4 窓際のモデリング評価指標の検討	65
(1)半円筒面照度比による検討	65
(2)顔面輝度による検討	67
(3)被験者の位置(窓との角度)およびモデルの向きによる検討	68
(4)窓際のモデリングの重回帰分析による検討	69

5. 4 結論	73
【参考文献】	74
第 6 章 円筒面に知覚される明暗面積比のモデリング評価指標への導入	75
6. 1 研究の目的	75
6. 2 円筒面に生じる明暗の境界位置(角度)判断実験	76
6. 2. 1 実験装置	76
6. 2. 2 実験方法	78
6. 2. 3 測光量の測定	79
6. 3 結果と考察	79
6. 3. 1 明暗境界判断結果	79
6. 3. 2 円筒の大きさによる明暗境界判断角度の違い	80
6. 3. 3 光源の明るさによる明暗境界判断角度の違い	81
6. 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 ..	81
6. 3. 5 明暗境界判断角度の測光量による推定	83
(1)陰線位置(角度)と明暗境界判断角度	83
(2)円筒表面の輝度分布	84
(3)方位別照度分布	85
(4)輝度・照度分布測定間隔の影響	88
6. 4 窓際のモデリング評価指標への明暗投影面積比の導入	89
6. 4. 1 明暗投影面積比の算出方法	89
6. 4. 2 明暗投影面積比とモデリング評価値との関係	92
6. 4. 3 窓際のモデリングの重回帰分析による検討	94
6. 4. 4 提案した窓際での人の顔のモデリング評価式(評価図)の使用例 ...	98
6. 5 結論	101
【参考文献】	102
第 7 章 結 論	103
謝辞	106
本論文に関する発表論文	107

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的

室の使用目的にふさわしい雰囲気の中で、見ようとするものがはっきりと正しく見えるように、適切な質と量を視環境中に供給することが照明の目的であり、ある目標を定めて、それが達成できるような照明条件を具体的に実現することが照明設計であるとされている¹⁾。良好な視環境を実現する上で、照明に期待されている効果は、照明の目標内容により明視性と雰囲気性の二つに大別され、前者を対象とする照明は、特定の視対象がはっきり正しく見えることを目標とし明視照明とよばれ、後者は、視対象を特定せずに室全体の快さ、雰囲気の適切さを目標とし雰囲気照明とよばれている。明視性と雰囲気性は、室内で行われる作業内容により、照明に求められる両者の比重は異なると考えられる。

照明設計（視環境設計）の最終目的は視環境の快適性と良好な視環境を保証することであり、使用者の総合的な主観評価に基づいて決定されなければならない。照明計画・設計は主観評価の元になる各種物理量に基づいてなされる必要がある。この一連の流れは、物理特性（照度、輝度、色度、材料の反射特性、光源の特性）→中間的物理特性（推奨照度、照度分布、輝度分布、輝度対比、光の方向性、色度分布）→中間的評価（見えの明るさ、まぶしさ、視力、演色性、立体感）→総合評価（快適性、良好な視機能）となり、実際の照明設計には更に経済性の問題が加味される。我々が照明設計において制御できるのは視環境の物理特性である。しかし、まだ、心理特性である評価と物理特性の因果関係が明確になっていないのことが多いのも事実である。

事務所、学校、工場などの照明設計は、住宅の居間、ホテルのロビーと異なり、作業性、安全性などの明視性を重視することから、これまで、作業面での書類を初めとする各種の視対象の可視性の良否に基づき、主として机上面の水平面照度の確保に主眼がおかれて来た。しかし、近年、視作業の対象の一つとして「人の顔」の見え方の重要性が指摘されてきている。井上²⁾による研究会議中の視線の動きの調査では、人の顔の視方向の出現頻度が約40～50%に達し、机上（書面類）を見る割合より多くなる場合があることを示している。視対象としての「人の顔」は事務所においては、執務中の打ち合わせ、あるいは会議を通じ、学校においては授業中の教師と生徒、共同作業中の生徒間等の対話相手とのコミュニケーションを図る上で、その見え方が大変重要である。これ

は従来のように、書類等の可視性への注目ばかりではなく、見え方といったより心理的な要素を加味することの必要性を示している。

照明はそこで扱う光源の違いにより人工照明と昼光照明にに分けられることが多いが、それらの目標とするところに差異はなく、同一の考え方で対処されるべきものである。人工光源は安定した光源であり、照明効果が測光量に基づいて簡単に精度よく予測できる。それに対し、昼光光源は主に窓からの天空光および地物反射光による、常に変動する不安定な光源であるため、照明効果は確率的にしか予測できない。今日の学校、事務所等では、昼光が得られる昼間でも人工照明を用いる併用照明が一般的であり、昼間の室内視環境は昼光と人工光の両者によって形成されているのが実状である。

また、省エネルギーの見地からライトシェルフ、光ダクトシステムなどの昼光の積極的利用と、昼光と人工照明との調和の必要性が論じられている。快適な昼光照明環境を設計するためには、窓際での人の顔のモデリングの評価方法を確立しなければならない。

さて、モデリングとは「立体的な対象物に適度な明暗（なめらかな明暗変化とはっきりした陰影）をつけて、立体の形を適切に表現する光の能力、または表現している光の状態¹⁾と定義されている。したがって、モデリングの良否は入射光の指向性と拡散性の度合に依存する。立体に拡散性が強い光が入射するとき、立体に生じる影は弱く、「平板的」な印象になりモデリングは好ましくない。また、入射光の指向性が強い場合、立体に生じる影は濃く、「どぎつい」印象になり、この場合もモデリングは好ましくない。好ましいモデリングは、立体に適切な陰影が生じるような指向性の光と拡散性の光との適当なバランスの下で得られる。

モデリングに関する研究は以前から盛んに行われていて、主観的なモデリングの状態を評価、説明するための評価指標として各種の測光量あるいはその組み合わせが提案されている。後述するように、多くの評価指標が提案されているが、広く受け入れられる評価指標が確立されるには至っていない。また、これらの評価実験の多くは、窓際のモデリングを想定して行われたとは言い難い。窓際での人の顔のモデリングの評価方法を確立するためには、実際の昼光照明状態での窓際の光環境に即した実験が必要である。

本研究は、窓際での人の顔のモデリングの評価方法を確立するために、窓際での光環境の実測データに基づいて、窓際での人の顔のモデリング評価実験を行い、物理特性とモデリング評価との関係を調べ、モデリング評価指標ならびに評価方法（推定式）を求めることを目的とする。

1.2 本研究に関連した従来の研究と本研究の意義

立体物のモデリング評価に関する研究は、全てが窓際を対象として研究が行われてきたわけではない。立体物の照明環境評価に必要な新しい測光量（空間照度）、人物を含む立体物のモデリング、光源の方向と大きさ、人の顔の見やすさ評価、窓際での光環境調査、窓際でのモデリング評価など、個々に関連を持ちながら研究がなされてきた。これらの研究を概観し、窓際での人の顔にモデリング評価に関わるとされる評価指標を中心に述べ、これまでの研究との比較から本論文の意義について述べる。

1.2.1 モデリングに関する研究

モデリングに関する初期の研究は、50 年ほど前にさかのぼる。

Moon & Spencer³⁾ は、天井から吊したゴルフボールおよび人物の石膏像について主観的評価実験を行い、立体視対象物における最大対最小の輝度比をモデリング・レシオ (modelling ratio) と名付けている。Modelling ratio は、1.5 : 1 のとき立体感は弱くなり、10 : 1 のとき立体感は強すぎるとし、2 : 1 から 6 : 1 の間が「受け入れられる」範囲であり、このうち 3 : 1 が「最も好ましい」ことを明らかにした。しかし、対象の立体物に対する入射光の方向性ならびにその影響については述べられていない。

Hewitt ら⁴⁾ は種々の照明下での人の顔の石膏像のモデリング効果について主観的評価実験を行い、モデリングの好ましさと「平均鉛直面照度／水平面照度」との関係について調べたが、主観的評価とこの照度比に相関は見られなかった。

Cuttle ら⁵⁾ は、立方体の各辺の位置に 8ft 蛍光灯 12 本を配置し拡散性光源とし、その頭上から側方にかけて数本の 5ft の蛍光灯を配置し指向性の光源として、この拡散性、指向性の光を与える装置（立体）の中央部にモデルを座らせ、被験者は立体の外側からモデルを正面に見て、(A)平板になりすぎはじめ (just too soft)、(B)もつともよい (preferred)、(C)どぎつくなりはじめ (just too harsh) の 3 つの判断基準それぞれに適合するように被験者自ら光の方向を調整する実験を行った。モデリング評価指標には照明ベクトルを球面照度で除したベクトル・スカラー比を用い、その照明ベクトルの方向が方位角 0°、180° の場合にはモデリングは好ましくなく、30° ～120° の範囲が好ましいとし、方位角 90° の場合は高度角 15° から 45° の範囲が最も好ましく、高度角 90° が最も好ましくないとしている。方位角 30°、60°、90°、120° の場合についてベクトル・スカラー

一比の好ましい範囲を図式化し、モデリングが好ましい範囲のベクトル・スカラー比は 1.2~1.5 であるとしている。この結果は比較的大きな光源を用いた照明に適用できるが、点光源による照明については必ずしもあてはまらないとしている。

Fischer⁶⁾ は多数の天井照明器具が取り付けられている床面積が広い室内では、ほとんど上方向から光が入射するため、拡散性の光が多く、立体のモデリングが好ましくないと考えられるので、指向性の強い光を上方から与える照明が受け入れられるかどうかの実験を行っている。実験装置は Cuttle らのものと類似し、立方体の各辺に 65w の蛍光灯 12 本を配置し、指向性の光源を照明ベクトルの水平角、高度角が、水平角 0°、高度角 45°（正面から）、水平角 90°、高度角 45°（側方から）、高度角 90°（上方から）の 3 種に調整し、人の顔、花、テニスボールを評価対象としモデリング評価実験を行った。その結果、前面（正面）からの照明は、人の顔に最もよいモデリング状態を与え、静物には側方からの照明が最も好ましいとしている。上方からの照明に対する好ましさの程度は、人の顔の場合も静物の場合も、それぞれ前面(正面)からの照明と側方からの照明の間であった。この場合の最も好ましいベクトル・スカラー比は人の顔の場合約 1.5、静物の場合約 2.0 であるとしている。

Cuttle⁷⁾ はモデリング評価に提案したベクトル・スカラー比を発展させ、視線方向による補正を行う、有効ベクトル・スカラー比を提案している。

国内においても 1970 年代になりモデリングに関する研究が行われはじめた。

阪口、江島、永井ら⁸⁾ は、Cuttle らの実験装置に準拠した 2.6m の立方体の実験装置を使い、マネキン(女性タイプ)を評価対象にして、指向性の光として点光源を用いた場合の好ましいモデリング効果を与える照明の所要件、および指向性用光源の大きさの変化のモデリング効果への影響を求める実験を行い、点光源を用いた場合の好ましい照明ベクトルの方向を指向性光源の視線との方位角毎に示し、ベクトル・スカラー比は、モデリングが好ましい状態には 0.5~1.0、ソフトな状態では 0.1、どきつい状態では 1.5 以上であるとしている。また、モデリングは光源の大きさが大きくなるほど好ましいベクトル・スカラー比は大きくなるとしている。また、Cuttle の提案したベクトル・スカラー比の問題点を指摘し、モデリングインデックスに照明ベクトルと可視半球平均照度の比が適していると述べている。

江島、阪口ら⁹⁾ は、立体を好ましく見せるための照明条件に関する研究で使用した実験装置を用いて、ベクトル・スカラー比を一定に保ち、照明ベクトルの方向を変えて、

評価方法として 28 項目の形容詞対による SD 法で実験を行った。「冷たいー暖かい」、「暗いー明るい」、「感じの悪いー感じの良い」、「コントラストが弱いー強い」の 4 種の因子が抽出され、4 因子を代表する尺度を作成し、それぞれの因子と照明ベクトルの方向との関係について述べている。

佐々木ら¹⁰⁾は、Cuttle らの実験装置に準拠した 1.3m の立方体の実験装置を使い、女性の顔をモデルとして実験を行い、ベクトル・スカラーとモデリング心理尺度との関係はベクトル・スカラー比が約 1 以下では「柔らかい」印象が強く、約 3 以上になると「硬さ」が急に強くなり、1~3 の間では印象変化がかなりゆるく、S 字型のカーブとなっている。

神阪^{11) 12) 13)}は、西洋絵画にみられる肖像画での“ぼかし画法”からヒントを得て、曲面である人の顔に生じる明暗状況を顔表面の位置(部位)への入射光量の減衰特性に着目して、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。この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。このカゲリ特性を照度の入射余弦法則により解析し、明暗ぼかし指数およびモデリング指数を導きモデリング評価への応用を提案している。Cuttle らのベクトル・スカラー比を明暗比としてとらえ、明部である照明ベクトルの代わりに球面上の最高照度、暗部でスカラー照度の代わりに最高照度方向に直交する平均円筒面照度とし、その比(明暗比)を用いた方が実用的かつ合理的であるとしている。この明暗比の逆数を 10 倍したものをモデリング指数とよび、モデリングが好ましい範囲は、モデリング指数が 2~5 がよいとしている。

竹内ら¹⁴⁾は Cuttle らの実験装置に準拠した 2.6m の立方体の実験装置を使い、マネキンを評価対象にして、住宅の居間を対象に「家族がくつろぎの会話」という状況設定のもとに SD 法によるモデリング評価実験を行っている。形容詞対は 10 で、背景輝度、スカラー照度、ベクトル・スカラー比をそれぞれ 3 段階の実験条件である。因子分析の結果「印象」、「見え方」の 2 つの因子が抽出され、それぞれは照明ベクトルの方位角、高度の影響、スカラー照度、ベクトル・スカラー比の影響があるとしている。

川上¹⁵⁾は人の顔の表情の識別に要する顔の明るさを、半円筒面照度で代表させ得るかどうかについて実験を行い、陰影が過度でないとの条件が満足されれば顔の輝度を半円筒面照度に換算しても実用上問題がないとし、それは鉛直面照度、円筒面照度、球面

照度より妥当であるとしている。しかし、陰影の影響を含めて正確に論じれば、光源の方向に無関係に、表情の識別に要する顔の明るさを一義的に半円筒面照度では表せないともしている。また、表情の識別に有効に働く光の光源の方向の限界は、水平角 90° ～ 120° の間に存在することも示している。

鹿倉ら¹⁶⁾は、人物、石膏像に高度 30° で水平角を 15° 間隔で 0° ～ 180° の範囲で投光し、そのスライド写真を見せて、人の顔の見え方に関する主観評価実験を行っている。結果から半円筒面照度の水平角特性は顔の見え方によく対応しているが、水平角 120° 以上からの光は顔の見え方に対して関与していないとしている。

川上¹⁷⁾は、陰影が生じている状態での人の顔の輝度とその位置における半円筒面照度および鉛直面照度との関係を実測して求め、半円筒面照度は鉛直面照度よりも顔の輝度との相関が高いことを示した。顔の輝度と半円筒面照度との関係は、実験範囲では陰影の影響がほとんど無視でき、 $\text{半円筒面照度} = \text{顔の輝度} / \text{顔の反射率}$ で表すことができるとしている。

高橋ら¹⁸⁾は、立体モデル（球、円筒、円錐）をスポットライトで種々の位置から照射して、この時できる陰影のパターンの写真を被験者に見せて、立体感等の評価を行わせた。その結果、立体的に見える陰影の特徴として、明暗のコントラストがより強いパターン、異なった照射強度、上方からの照明によってできる陰影であるとしている。

齋藤、久野^{19) 20)}は、コミュニケーション時における人の顔の見え方を想定して、天井および横方向から光を当てる照明装置を使った評価実験を行い、モデリング評価指標の一つであるベクトル・スカラー比の再検討を行った。その結果、明るさ感（スカラー照度）と相関が高く、ベクトル・スカラー比は立体感を表すにはよいが明るさ・見やすさを十分に表さない。モデリングの評価にはスカラー照度も十分考慮に入れる必要があるとしている。さらに、ベクトル・スカラー比が小さい条件も加えた評価実験を行った。その結果、スカラー照度の大きい方が評価がよく、角度のついた方向性の強い光が立体感をきわだたせることが判明し、モデリング評価にはベクトル・スカラー比、ベクトル照度の向きとともにスカラー照度も十分考慮する必要があるとしている。

北村ら²¹⁾は、2.6m立方体の各辺に蛍光灯を配し、任意の角度から投光できるライトを有する装置で、被験者自身を照らし、鏡に映した自分自身を評価する実験を行った。ベクトル・スカラー比は主光源が二方向以上になるとベクトル・スカラー比の値、照明ベクトルの方向、スカラー照度などの値が同じであっても、見え方や受け止める印象が

違う例が見られた。そのため、モデリング評価指標として、ベクトル・スカラー比に変わる六面照度のばらつきで表す拡散度を提案している。

高橋ら²²⁾は、正 20 面体の各頂点に拡散光用光源を配し、任意の方位角、高度に支持することができる指向性光源を有する実験装置を製作し、球および顔型モデルを被験者に見せて、いくつかの評価項目に対する評価実験を行った。その結果、拡散性光の有無は「立体感」、「好ましさ」に影響を与える。指向性光の照射高度は鉛直軸に対して方向性の強い視対象の評価に強く影響するとしている。

斉藤、久野²³⁾は、2名の被験者を使って、被験者のモデルを見る視線の動き、瞳孔径を測定した。その結果、視線の動きはベクトル・スカラー比、ベクトル照度の角度が同一の実験条件ではスカラー照度が大きい程停留点に留まる時間が長く、顔の中心に集中する。明るいときは明るく適度な感じの所を見ており、どぎつくなると明暗の輪郭を見ている。また、全体的にスカラー照度が大きいほど瞳孔径が小さいとしている。

野田、久野、齋藤^{24) 25)}は、被験者の目の順応状態が印象評価へ及ぼす影響を、瞳孔径、視線の動きを計測することにより調べた。その結果、モデリング評価の提示時間が 1 分間の場合には、実験条件が異なる次の実験とのインターバルは 1 分間程度で良い。ベクトル・スカラー比だけではモデリングの評価に関して十分とは言えず、スカラー照度の影響も非常に大きい。視線の動き、瞳孔径の変化は個人差が大きく、瞳孔径は全体的に明るさに対応して変化するとしている。

松浦²⁶⁾は石膏像に白熱電球で同一水平面から入射角を変えて（正面を 0° とし -60° から 120° の 1 光源 4 条件、2 光源 1 条件）照らし、被験者は視距離 2 m でその正面を見て 4 種類評価語の評価実験を行い、鉛直面照度および半円筒面照度との関係を調べた。その結果、「明るさ」感は照度に比例し、半円筒面照度との相関が高い。「立体」感は照度との対応が悪く、2 光源（対称な角）では効果的な指標となっていない。半円筒面照度はモデリングの効果として鉛直面照度よりは良いが、条件に制限があるとしている。

柏、南^{27) 28)}らは、1 辺 1.25m の立方体の各辺に拡散性光用光源を配し、高度、方位角を任意に支持できる指向性の光源を有する実験装置の中心にマネキン頭部を置き、48 の照明条件で、顔の見え方についておよび空間の用途（事務室、応接室、受付）の好ましさを評価実験を行った。その結果、表情の見えやすさ、コントラスト、見え方の自然さの 3 つの主成分が抽出され、総合的な顔への光の当たり方の好ましさを表した。また、空間の用途による好まれる顔の見え方の違いを 3 次元の分布図により明らかにした。さ

らに、空間の用途別の好ましい条件を得るための物理量について考察を行い、輝度分布による人の顔の見え方の評価を試みている。顔の見えやすさ、コントラスト、見え方の自然さと顔面輝度の変動係数（測定した4点の顔面輝度の標準偏差／測定した4点の顔面輝度の算術平均）の関係を図示している。また、6面照度の変動係数と顔面輝度の変動係数との関係を図示している。

1.2.2 窓際でのモデリングに関する研究および窓際の光環境調査

Bean²⁹⁾ は、昼光照明と人工照明の併用照明時には、昼光による水平方向からの光と人工照明による上方からの光による光の方向性について検討し、水平モデリング指標（最大鉛直面照度／円筒面照度）と垂直モデリング指標（上下の水平面照度差／最大鉛直面照度）で考えるべきである提案している。

田淵³⁰⁾ は、Moon & Spencer の提案したモデリング評価指標の Modelling Ratio（立体視対象物の最大対最小の輝度比）を参考にして、窓に平行に見る場合の窓際でのモデリング状態を窓向き鉛直面照度と奥向き鉛直面照度の比で評価することを提案している。

杉浦ら³¹⁾ は、昼光によるルーバー照明を想定した実験室（昼光代用光源、天井照明）で、13 形容詞対で SD 法によるモデリング評価実験を行い、因子分析の結果第 1、2 因子を「快適性因子」、「モデリング因子」とし、因子得点と測光量の関係を求めている。その結果、モデリング因子はベクトル・スカラー比との相関は低く、観察者方向での半円筒面照度との相関が高く、これに半球面照度を加えた回帰式はさらに相関が高いとしている。

茶谷ら³²⁾ は、モデリング評価指標として、提案した「拡散度」を実空間（事務室、座敷）について実測し、室内分布図を作製した。その図を元に「好ましき」評定値の室内分布図を作製している。

南ら³³⁾ は、窓からの距離とモデリングに関連した物理量、被験者が感じる見え方との関係などを明らかにすることを目的に、実際の昼光を導入した室内において被験者実験を行った。実験時に得られた測光量から、Cuttle らのベクトル・スカラー比を求めると、窓際でのモデリングはどぎつくなるが、被験者のモデリングに関する申告は、窓際でのモデリング状態はどぎつくて不満である、ということは起こりにくく、むしろ室奥より好ましい状態であったとしている。

大澤ら³⁴⁾ は、オフィスの室内環境評価客観的かつ定量的に行うために、オフィス環

境の居住後評価システム「POEM-0(Post Occupancy Evaluation Method-Office)」の開発・整備を行っている。測定項目は、音、光、熱、空気、空間に大きく分かれ、その中の光関係の測定項目は、1. 平均（机上面）照度、2. 鉛直面照度（モデリング評価）、3. 鉛直面輝度（シルエット現象評価）、4. 代表部位の輝度測定である、その際、モデリング評価指標には窓向き鉛直面照度(E_{vo})と奥向き鉛直面照度(E_{vi})の比(E_{vo}/E_{vi})を、シルエット現象評価には奥向き鉛直面照度(E_{vi})と窓面輝度(L_w)の比(E_{vi}/L_w)を用いている。しかし、モデリング等の評価への具体的な検証は論じられていない。

中村ら³⁵⁾はオフィスの一室において空間照度の変動の実測調査を行い、水平面照度と照明ベクトル、スカラー照度、円筒面照度などの空間照度の変動は終日ほぼ類似する。昼光照明時のベクトル・スカラー比変動は天候の影響をほとんど受けない。昼光照明時のモデリングはcuttleのベクトル・スカラー比の評価図に照らすとその評価は低くなる。併用照明時には、室内への入射する昼光に対して人工光が過大であると、昼光照明時よりモデリングが悪くなる恐れがあるとしている。

1.2.3 空間照度測定装置

阪口ら³⁶⁾は、ピンポン球を半分に切り、その内部にセレン光電池を設置し、角度特性を良好にするために半球の天頂に直径 18.8 mmのマスクを付けた半球の平均照度測定装置を試作している。半球の軸を照度ベクトルの方向に直角になるようにすれば、半球の平均照度はスカラー照度と等しくなるとしている。市販の半球面照度計との比較検討は行われていない。

中村ら^{37) 38)}は、正6面体の各面の中央に照度計受光部を取り付けた6面照度計を試作し、6面照度計で得られる空間照度（スカラー照度、平均円筒面照度、照明ベクトル）の近似値の説明ならびに測定事例について報告している。

佐々木ら³⁹⁾は、本研究で開発した装置とほぼ同様の考え方で作られている。全高長 60cm、土台直径 30cm、2個のステッピングモーター（水平、垂直）で回転させ、空間の任意の1点におけるあらゆる方向の照度と微小立体角に入射する光束を測定できる。9度間隔 800 方向の測定に 15 分を要するとしているが、種々の空間照度の測定検討は行われていない。

飯塚ら⁴⁰⁾は、ミニ照度計受光部を自由雲台に固定し、上下左右任意の角度に受光部を手動で向きを変える装置を試作し、方位 45°ごと、高度 30°ごとに向きを変え照度を

測定し、スカラー照度、ベクトル照度の測定を行っている。回転中心の定位置での保持に手間がかかり、迅速な測定が困難であったと述べている。1回の測定時間は不明である。

神坂⁴¹⁾は、球面照度、円筒面照度などの空間照度の測定に、普通の平面照度測定用の照度計を代用して、受光部向き6方向あるいは4方向の照度の平均による方法があるが、その概算値の精度について述べている。投光器のように点光源に近い場合には、6方向平均による球面照度は最大で-33%、4方向平均による円筒面照度では最大で-21%の誤差が生じることを示している。この誤差を少なくするために、受光部向き26方向照度平均法による測定法を提案している。

これらのモデリング評価に関する従来の研究を大別すると、モデリングを単方向の測光量に基づく指標により説明しようとするものと、空間的に平均化した測光量に基づく指標によって説明しようとする研究に分けることができる。前者の代表的なものとして Moon & Spencer の Modelling Ratio (立体視対象物の最大対最小輝度比)、Hewitt の平均鉛直面照度/水平面照度がある。後者では Cuttle のベクトル・スカラー比に関連した研究が数多く見られる。しかし、このベクトル・スカラー比のモデリング評価への対応の不備な点を指摘する研究も見られる。人の顔が半円筒面に近いことから、モデリング評価と顔の位置での半円筒面照度との関連についての研究も見られる。

これら一連のモデリング評価は、モデルに種々の方向からの入射光を当てて実験が行われているが、モデリング評価に適応できる光源の方向の範囲が限られている。また、昼光照明時の窓のように大きな面光源を主光源とする実験は非常に少ない。窓際での人の顔のモデリングを田淵は窓向き鉛直面照度/室内向き鉛直面照度の値により評価する方法を述べているが、Moon & Spencer の Modelling Ratio を参考にして決められた値で実験的裏付けはない。Cuttle のベクトル・スカラー比を実際の昼光照明下の室で測定し、予測される窓際でのモデリング状態について報告しているものもあるが、昼光照明下における窓際での人の顔のモデリング評価実験ではベクトル・スカラー比との対応が良くないとの報告もある。

このように、多くの評価指標が提案されてきたが、未だ、広く受け入れられる評価指標が確立されるには至っていない。また、これらの評価実験の多くは、窓際のモデリングを想定して行われたとは言い難い。窓際でのモデリングは、光源の大きさ、方向性な

ど一般のモデリングと同一に扱えないところがあると思われる。窓際のモデリングを考えるためには、窓のように高輝度で、面積の広い光源を主光源とする光環境での評価実験が必要である。その際、現実の室内の窓際の光環境に基づいたものでなければならない。

スカラー照度、平均半球面照度、円筒面照度、平均半円筒面照度などの空間照度を測定するためには、それぞれ特有の形状を持つ受光部が必要であり、変動する昼光照明下における室内で、それらの空間照度を同時に測定することはできず、同一地点での測定には受光部を取り替えながら測定を行わなければならない。この空間照度計の受光部および測定装置は、国内において現在のところ市販されていない。種々の空間照度を昼光のように変動する状態で測定するためには、短時間に、精度良く測定する装置の開発が必要とされる。

1.3 本論文の構成

本研究は、窓際の光環境の実測調査に基づいて、窓のように高輝度で、面積の広い光源を主光源とする光環境での評価実験を行い、窓際の人の顔のモデリングの評価指標の選定ならびに評価方法の確立を本研究の目的とし、7章から構成されている。

第1章では、研究の目的と意義、従来の研究と問題点、研究の範囲と方法について述べている。

第2章では、各種の空間照度を短時間に精度良く測定できる装置を試作し、その装置を用いて、先ず窓際の人の顔のモデリングが問題になるであろう学校、事務所について、窓際への入射光分布の実測し、その結果について述べる。

第3章では、第2章での実測した窓際での入射光分布の測定結果に基づいた窓際の光環境を実験室内に作り出し、窓際の人の顔の窓に平行に見るモデリング評価実験を行い、窓際の人の顔のモデリング評価と諸測光量との関係について検討する。

第4章では、実際の窓際では視対象である相手の顔とそれを見る人との位置関係は様々であるので、相手（モデル）の顔の向きと観察者の視線方向（窓に対する角度）を種々に変えて、窓際の人の顔のモデリング評価実験を行い。モデルの向き、観察者の視線方向とモデリング評価値の関係について検討を行う。また、これまでに知られているいくつかのモデリング評価指標による検討を行い、その問題点を述べ、窓際の人の

顔のモデリング評価指標および評価式について検討する。

第5章では、第4章と同じ観察条件で、執務に使用している室内の実際の窓を使って、窓際のモデリング評価実験を行い、実際の昼光照明下での諸測光量の特徴について述べ、実際の昼光照明下における窓際での人の顔のモデリング評価指標の検討を行うとともに、第4章の模擬環境で得られた実験結果との整合性を検討する。

第6章では、窓からの強い光と室内側からの弱い光はモデルの顔に明暗を生じさせるが、モデルの向き、観察位置により、その見かけの明暗の割合は異なって見えることになる。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ことにし、その割合を入射光の分布から簡易的に求める方法を探り、窓際での人の顔のモデリング評価指標への応用と第3章から第5章までに得られた窓際での人の顔のモデリング評価指標を総合的に検討し、評価指標の選定ならびに評価方法（評価式）の提案を行っている。

第7章では、第2章から第6章までの各章を総括し、本研究で得られた結果を総括し今後の展望および課題について述べている。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会編：昼光照明の計画，日本建築学会設計計画パンフレット 30，pp. 11-12, p. 26
- 2) 井上容子：視環境の動的評価法，学位論文，pp. 23-33，昭和 60 年
- 3) Moon P. and Spencer D. : Modelling with light, Jour. Franklin Institute, Vol. 251, pp. 453-466, 1951
- 4) Hewitt. H. et al. : Lighting and the Environment, Trans. Illum. Eng. Soc., Vol. 30, pp. 91-116, 1965
- 5) Cuttle C. et al. : Beyond the working plane, Proc. of the C. I. E. Conference, P. 67-12, pp. 471-482, 1967
- 6) Fischer, D. : The European approach to the integration of lighting and air-conditioning, Lighting Research and Technology, Vol. 2, pp. 150-159, 1970
- 7) Cuttle, C. : Lighting Patterns and the Flow of Light, Lighting Research and Technology, Vol. 3, pp. 171-189, 1971
- 8) 阪口忠雄，江島義道，永井久，立体を好ましく見せるための照明条件に関する研究（1），（2），照明学会雑誌，第 59 巻 第 1 号，pp. 11-25，昭和 50 年
- 9) 江島義道，永井久，野口透：光の方向とモデリングに関する実験，照明学会誌，第 63 巻 第 7 号，pp. 43-46，昭和 54 年
- 10) 佐々木嘉雄，金子直礼，室井徳雄：照明空間における照明ベクトルと光束密度，照明学会雑誌，第 63 巻 第 7 号，pp. 35-42，昭和 54 年
- 11) 神阪祥：カゲ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
- 12) 神阪祥：複数点光源のカゲリ特性，照明学会雑誌，pp. 279-283, 1977
- 13) 神阪祥：照明方法とカゲリ，照明学会雑誌，pp. 391-396, 1979
- 14) 竹内義雄，乾正雄：人物の顔のモデリングの評価に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 D，pp. 289-290, 1983
- 15) 川上幸二：表情の識別と半円筒面照度の関係，照明学会誌，第 70 巻 第 56 号，昭和 61 年，pp. 36-41, 1986

- 16) 鹿倉智明, 田中俊彦, 金子直礼: 半円筒面照度と顔の見え方の研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集D, pp. 31-32, 1988
- 17) 川上幸二: 顔の輝度と半円筒面照度の関係, 照明学会誌, 第74巻 第6号, 平成2年, pp. 30-35, 1990
- 18) 高橋好正, 宮田紀元: 立体物の照明効果(モデリング)に関する研究——直射光による1方向および2方向照射——, 日本建築学会大会学術講演梗概集D, pp. 77-78, 1991
- 19) 齋藤良徳, 久野覚, オフィス照明に関する研究 モデリングの物理的評価指標の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集D, pp. 305-306, 1992
- 20) 久野覚, 齋藤良徳: オフィス照明に関する研究 その2モデリングとスカラー照度, ベクトル・スカラー比の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集D, pp. 1145-1146, 1993
- 21) 北村麻子, 茶谷譲介, 木村比佐子, 中村芳樹, 乾正雄: モデリング効果による室内光環境の評価 その1評価図の作製, 日本建築学会大会学術講演梗概集D, pp. 307-308, 1992
- 22) 高橋好正, 宮田紀元: 立体物における照明効果に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集D, pp. 959-960, 1993
- 23) 齋藤良徳, 久野覚: オフィス照明に関する研究 その3モデリング評価と視線・瞳孔径変化の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集D, pp. 1147-1148, 1993
- 24) 野田浩, 久野覚, 齋藤良徳: オフィス照明に関する研究 その4目の順応状態がモデリングに及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集D, pp. 1027-1028, 1994
- 25) 齋藤良徳, 久野覚, 野田浩: オフィス照明に関する研究 その5目の順応状態を考慮したモデリング評価と視線の動き・瞳孔径変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1029-1030 D, 1994
- 26) 松浦邦男: 顔のモデリングと半円筒面照度に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集D, pp. 1149-1150, 1993
- 27) 柏貴浩, 南幸伸, 岩田利枝, 木村建一: 室内における人の顔の見え方に関する実験研究 その1見え方の評価と空間の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集D, pp. 1031-1032, 1994
- 28) 南幸伸, 柏貴浩, 岩田利枝, 木村建一: 室内における人の顔の見え方に関する実験研究 その2見え方の評価と物理量の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集D, pp. 1033-1034, 1994

- 29) Bean, A.R. : Modelling indicators for combined side and overhead lighting systems, Lighting Research and Technology, Vol.10, pp.199-202, 1978
- 30) 田淵義彦:側窓採光の事務所照明における昼光と人工光の協調の要件, 照明学会誌, Vol. 66, pp. 483-489, 1982
- 31) 杉浦敏浩, 森詳子, 久野覚: オフィス照明に関する基礎研究—その 1 モデリングについて—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp. 167-168, 1989
- 32) 茶谷譲介, 北村麻子, 中村芳樹, 乾正雄: モデリング効果による室内光環境の評価 その 2 実空間における光環境の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.309-310, 1992
- 33) 南幸信, 岩田利枝, 宿谷昌則, 木村建一: 昼光を導入した室内のモデリングに関する被験者実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, 1993, pp. 1143-1144
- 34) 大澤元毅, 坊垣和明: 室内環境の居住後評価システムその 5 POEM-0 試行調査の結果, 日本建築学科大会学術講演梗概集 D, pp. 4186-4187,
- 35) 中村洋, 慎仁重, 古賀靖子, 大門昌昭, 後藤浩一: 建築空間における昼間の光環境の動的変動に関する研究 その 2 オフィス空間の昼光環境について, 照明学会誌, 第 81 巻, 第 2 号, pp. 88-98, 平成 9 年
- 36) 阪口忠雄, 江島義道, 永井久: 立体を好ましく見せるための照明条件に関する研究, 照明学会雑誌, 第 59 巻, 第 1 号, pp. 11-18, 昭和 50 年
- 37) 中村洋, 中西正明: 視環境評価の指標の簡易測定法に関する検討, 日本建築学科大会学術講演梗概集, pp.181-182, 昭和 56 年
- 38) 中村洋, 沖允人, 小川増美, 山村康郎: 新しく試作した六面照度計と測定例, 日本建築学科大会学術講演梗概集, pp.481-482, 昭和 62 年
- 39) 佐々木嘉雄, 穂積順一, 岸浩行, 小野隆, 室井徳雄: 空間光束密度分布計測装置の試作, 昭和 58 年照明学会全国大会梗概集, p140, 昭和 53 年
- 40) 飯塚邦一, 中谷明男: 美術館展示像におけるモデリングの研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp. 4080-4081, 1989
- 41) 神阪洋: 平面光源による空間照度の計算式および概算法についての考察, 照明学会誌, 第 77 巻, 第 6 号, pp. 59-67, 平成 5 年

第2章 窓際への入射光分布の実測調査

2. 1 研究の目的

これまでの人の顔のモデリングに関する研究により、多くのモデリング評価指標が提案されてきたが、未だ、広く受け入れられる評価指標が確立されるには至っていない。また、これらの評価実験の多くは、窓際のモデリングを想定して行なわれたと言い難い。窓際のモデリングを考えるためには、窓のように高輝度で、面積の広い光源を主光源とする光環境での評価実験が必要である。そのためには、先ず実際の窓際の光環境、特に被照点における光の入射状況を十分に把握し考慮する必要があると思われる。昼光照明下における室内の光環境を水平面照度以外による入射光量で測定した報告^{1)~3)}はいくつか見られるが、被照点への光の入射の方向性については照明ベクトルによるもので、被照点での方向別照度についての報告は見あたらない。そこで、本章では、先ず窓際での人の顔のモデリングが問題になるであろうと思われる学校、事務所について、窓際への入射光分布の実測調査を行なった。

2. 2 測定装置

人の顔のような立体物への入射光量を単に水平面照度で示すことはできない。そこで、空間のある点における“照明の場”⁴⁾を考え、その点に仮想した微小面の表面の照度と裏面の照度との差が3次元空間で最大となる方向をベクトル方向とし、その照度差を大きさとするベクトルをその点の照明ベクトル (illumination vector) と呼ばれている。また空間のある点に微小な立体を想定し、その表面に入射する光束の面積密度を考えることで広義な照度として扱うことにする。その空間の照度の代表的な例として平均球面照度 (スカラー照度)、平均半球面照度、平均円筒面照度、平均半円筒面照度等が考えられている (以下、これらを総称して空間照度と呼ぶことにする)。照明ベクトルを除く空間照度は各々の形状を持つ微小立体表面上の平均照度である。したがって、個々の空間照度を瞬時に測定するためには、それぞれの形状の受光部を有する測定機器が必要である。それらの測定機器は市販されているものが少なく、国内では上述の測光量を近似的に簡便に測定するために中村らが試作した六面照度計の提案⁵⁾がある。筆者らは照度計の受光部を水平方向及び垂直方向に回転させることによって、短時間にか

つ精度良く任意の向きに支持することができる装置を試作した（以下、2 軸回転式空間照度計と呼ぶ）。

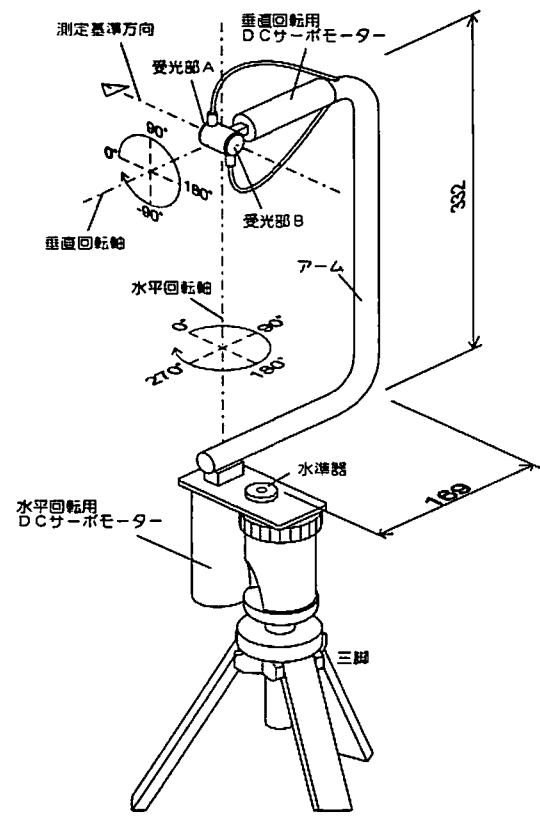


図 2-1 2 軸回転式空間照度計本体の概観図

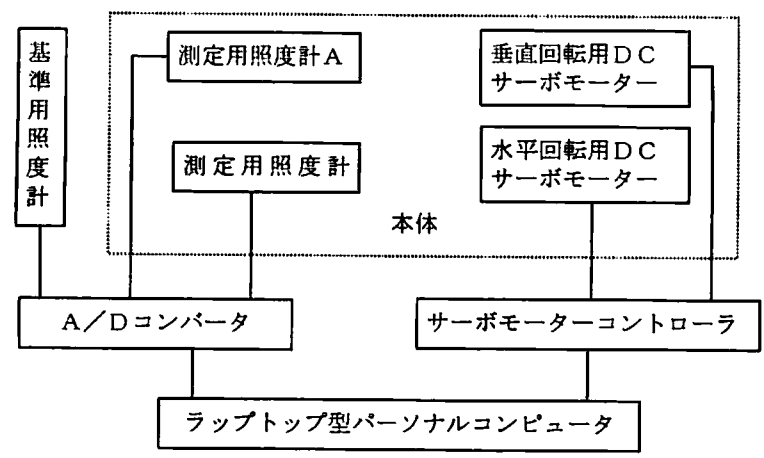


図 2-2 2 軸回転式空間照度計の構成図

試作した 2 軸回転式空間照度計本体の概観を図 2-1 に、その構成を図 2-2 に示す。三脚に固定した水平回転用 DC サーボモーターの回転軸にコの字型のアームを取り付け、アームの先端に垂直回転用小型 DC サーボモーターを固定する。その回転軸にこれと平行に 2 個の照度計受光部(ミノルタ T-1M 型、直径 16.5mm)を互いに背を向け、回転軸から等距離になるように取り付ける。水平、垂直回転用モーターを任意のステップ角で回転させることにより、受光部を両軸の交点を中心に小さな球面(半径 15mm)上であらゆる方向に向けることができる。2 つのモーターには高精度のギアが組み込まれていて、回転角度を数分程度まで制御可能である。この 2 つのモーターを制御プログラムによりコントロールし、逐次受光部の向きを変えて照度を測定することにより、照度の空間的分布状況を容易に把握でき、上述の各種の空間照度の測定が可能である。受光部への反射の影響を考慮して、装置は艶消し黒色塗装を施してある。図中の水準器は脱着式で、装置のセット時のみ使用し測定の際は取り除く。水平角、高度角とも各 15° 間隔で全方向を測定するのに約 30 秒を要するので、本体以外にもう 1 台の照度計(図 2-2 中の基準用照度計)を窓に正対させて固定し、測定中に変動した窓面輝度の変動の影響を補正できるようにしてある。その他、水平あるいは垂直方向のみ回転させることもでき、その場合の測定に要する時間はかなり短くなる。水平方向(方位角 15° 間隔で 24 方位)の場合約 5 秒、垂直方向(高度角 15° 間隔で 24 方位)の場合約 3 秒、水平・垂直角とも 90° 間隔(六面照度と同等)では約 2 秒である。

2. 3 測定方法及び測定対象室

この 2 軸回転式空間照度計を使って実際の室で窓際の空間照度の測定を行なった。本体照度計受光部が窓に直面した時を 0° として、水平角 15° 間隔毎に 345° までの 24 方位に受光部が向いた時の照度を携帯用パソコンに自動的に記録させる。次に高度角を 15° 間隔で変えながら同様に 24 方位について測定し、全方向の測定を終える。高度 0° の時の 24 方位の照度を読み出せば方位別鉛直面照度分布が得られ、或る方位角時の各高度(24 高度)の照度を読み出せば、その方位の高度別照度分布が得られる。このようにして全方向の照度分布も得られる。

測定を行なったのは、表 2-1 に示す 3 種類のいずれも側窓採光室である。窓際 1m、床上 1.5m の位置で測定を行なった。室の状態から容易に測定可能であった時には窓から 2m、3m 入った点でも測定した。室の間口(窓幅)の中央位置で測定するよう心

がけたが、中央部に柱がある場合には、これを避けてその右側または左側の窓の中央部で測定した。すなわち窓は測定点から見て、必ずしも左右対象の位置にあるとは限らない。

測定した室は南向きが多いが、北向き、東向きの室も含まれている。いずれも無人の空室状態で、直射日光の室内への入射はない。室内の机、椅子、掲示物等はそのままの状態、室内照明は点灯せず昼光のみである。事務室で側方壁にも窓がある場合には、カーテン、ブラインド等で遮蔽し片側採光室として測定した。また、測定終了後、各室の天井、壁、床の反射率を輝度計と標準反射板を用いて数ヶ所ずつ測定した。

測定した教室、事務室の室内の諸寸法と仕上げ状況を表 2-1 に示す。教室、事務室の各室内寸法の平均値は似通った値を示しているが、片側採光教室は小人数のゼミ室や大講義室が含まれるため、室幅、奥行、窓幅の寸法の標準偏差が大きい。教室の天井高は大講義室を除けば例外なく 3m であるのに対し、事務室では 2.5～2.7m と低い。そのため、窓上辺の高さも事務室の方が低い。窓は全て透明の板ガラスである。

表 2-1 実測した室内の諸寸法（実測平均）と仕上げ

		片側採光教室	両側採光教室	片側採光事務室
用途及び 測定室数		大学講義室 30 室、 大学ゼミ室 10 室	小学校、中学校、 大学の計 40 室	貸事務所(空室)、 会議室の計 24 室
室 間 口		9.91m(4.44)	8.15m(1.37)	9.85m(2.91)
室 奥 行		8.70m(3.10)	8.29m(0.95)	9.17m(2.21)
窓 幅		8.06m(3.86)	7.29m(1.38)	7.52m(2.26)
窓 高		1.96m(0.11)	2.19m(0.17)	1.61m(0.20)
窓 台 高		0.81m(0.19)	0.81m(0.17)	0.91(0.16)
室内 仕 上 げ	天井	白色系天井材	同左	同左
	壁	プラスター塗装 黒板、掲示板	プラスター塗装 板張り(小中校) 黒板、掲示板	ビニールクロス (白色系)
	床	P タイル、 塩ビシート	P タイル、 塩ビシート 板張り(小中校)	P タイル、 塩ビシート、 カーペット敷き

() 内数値は標準偏差

2. 4 測定結果

表 2-2 は教室、事務室の室内各面で測定したの反射率の平均値である。全体的に、教室に比べ事務室の反射率が高いことがわかる。特に壁面の反射率の差が大きい。教室の壁面の平均反射率は黒板（平均反射率約 10%）を除いて計算しているので、教室の壁面の総合的な平均反射率は更に低いものと思われる。

表 2-2 教室と事務室の室内反射率の測定結果
実測平均値 単位[%] ()内は標準偏差

	壁 面	天 井 面	床 面
教 室	53.1(20.4)	74.0(12.6)	24.8(10.3)
事 務 室	72.7(11.3)	84.6(11.9)	29.7(10.6)

各測定点で測定したデータから、窓向き鉛直面照度を 100 とした時の各方位の鉛直面照度の相対値を計算し、片側採光教室、両側採光教室、片側採光の事務室の 3 種類の室内について、窓からの距離 1m、2m、3m 毎に平均して、方位別鉛直面照度分布を求め図 2-3 に示す。

片側採光の教室の 1m、2m の点は、ほぼ同様の分布パターンを示し、その形は正円よりやや縦長の細身の円形となっている。室奥向き鉛直面照度（180°）は窓向き鉛直面照度（0°）の約 5%程度でしかない。窓と平行な向き（90°）の照度は約 25%である。窓から 3m 入ると、室奥向きの照度成分が大きくなっていることがわかる。

両側採光の教室での分布状況は、形状は片側採光教室と似た細身の分布パターンを示す。窓からの距離が増す毎に、窓と平行な向きの照度の変化はないものの、室奥向きの照度成分の増加が著しい。これは、廊下側の窓からの入射光による影響と思われる。片側採光の事務室の場合は、片側あるいは両側採光の教室での分布状況とかなり異なり、正円に近い、左右にやや膨らんだ分布をしており、片側採光教室と比べ室奥側からの成分が大きいことがわかる。事務室の壁面、床面の反射率が表 2-2 に見られるように教室と比べ高いためであると考えられる。

表 2-3 は室奥向き鉛直面照度と窓に平行な向きの鉛直面照度の窓向き鉛直面照度に対する割合を窓際 1m について求めたものである。片側採光教室のその割合は最小値、最大値、平均値とも片側採光事務室のそれぞれ 4 割、6 割程度である。

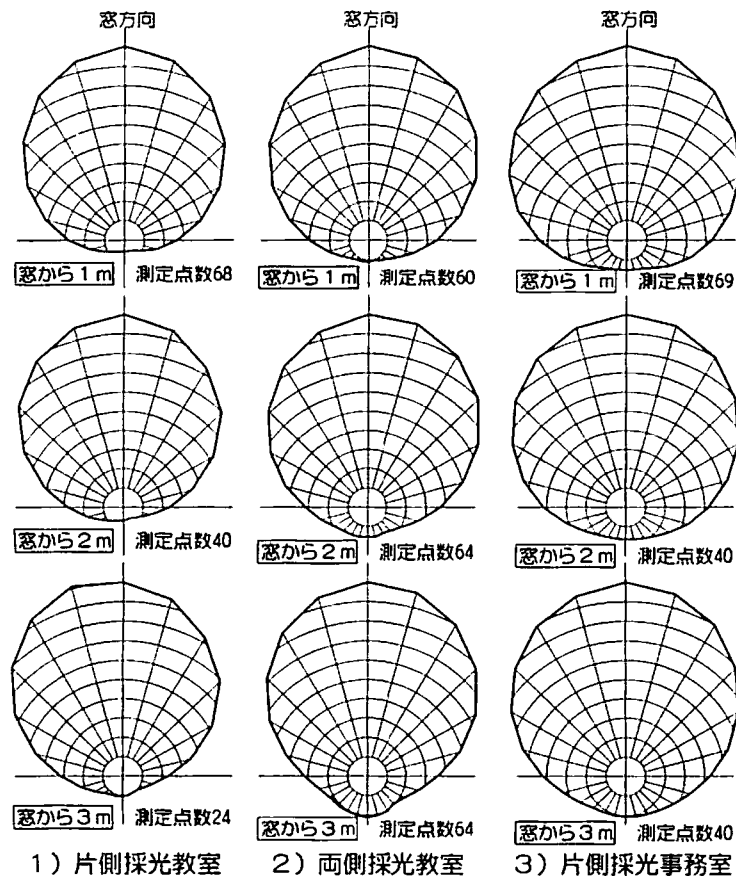


図 2-3 方位別鉛直面照度分布（実測平均値）

表 2-3 室奥向き鉛直面照度、窓と平行な向きの鉛直面照度の窓向き鉛直面照度に対する割合[%]（実測、窓際 1m）

	片側採光教室		両側採光教室		片側採光事務室	
	室奥向	窓平行	室奥向	窓平行	室奥向	窓平行
最小値	1.8	15.3	3.5	20.5	4.2	26.3
最大値	10.4	37.3	19.6	40.2	27.8	64.7
平均値	5.65	27.3	10.0	30.6	12.4	42.6
標準偏差	1.82	4.41	3.23	4.48	3.83	8.03

図 2-4 は両側採光教室における窓に垂直な鉛直面での高度別の実測照度を、窓向き鉛直面照度を 100 とした時の相対値に換算して、窓からの距離毎に平均し、その分布を示したものである。図 2-3 の方位別鉛直面照度分布をそれぞれ 90° 回転させたような分布をしている。しかし、測定点高さの上側（天井側）と下側（床側）では、分布

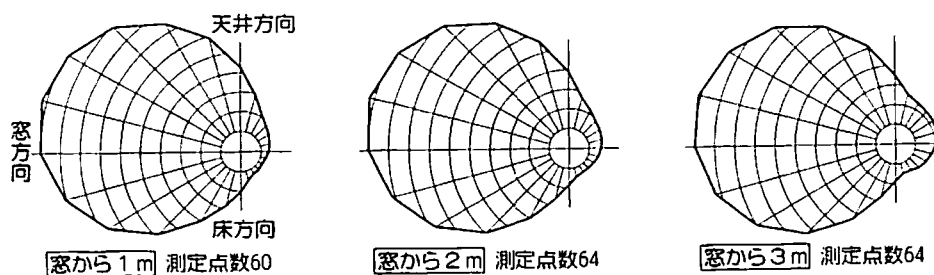


図 2-4 両側採光教室の高度別照度分布（実測平均）

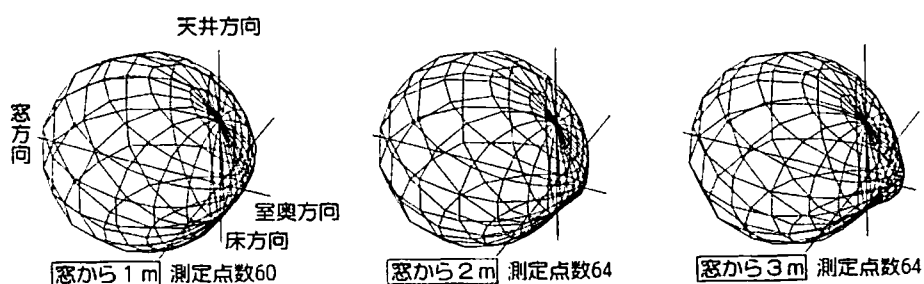


図 2-5 両側採光教室の方向別照度の立体表示（実測平均値）

の形が若干違っている。また、窓向き 0° より上向き 15° の値の方が大きくなっている。これは、測定高さが窓高さの中央部より下側にあること、窓外の輝度の違い、天井と床面の反射率の違いによるものと考えられる。窓からの距離が違っても天井向きの照度（水平面照度と等しい）はあまり変わらず、窓向き鉛直面照度の約 40% となっている。

事務室における高度別分布も図 2-4 とほぼ同様の分布となり、方位別鉛直面照度分布の場合ほどの違いは見られなかった。片側採光の教室についても室奥側成分が僅かに減少する他は同様の分布となる。

図 2-5 は図 2-3、4 同様、窓向き鉛直面照度を 100 とした時の相対値を全方位について求め、同経度及び同緯度毎に結びアイソメ図に示したものである。アイソメ図のため細部の検討は難しいものの照度の空間的分布状態を視覚的に把握することができる。

2. 5 結論

窓際での人の顔のモデリングを検討するためには、窓際における光環境の状況の把握がまず必要であるため、窓際の光環境を被照点への光の入射の方向性を中心にして教室、事務室について実測調査した。結果を要約すると、

- (1)窓際での光の入射状況を把握するためにあらゆる方向での照度の測定が可能で、種々の空間照度の算出が可能である2軸回転式空間照度計を試作した。
- (2) 窓際での光環境特に被照点における入射光の状況が知られていないため、先ず窓際での人の顔のモデリングが問題になる学校や事務所について、この装置で実際の窓際の各方向の照度を測定し、窓から1m、2m、3mの地点における、方位別鉛直面照度分布、高度別照度分布、照度の全方位分布状況を示した。
- (3)鉛直面照度の方位別分布状況は、片側採光室であるか両側採光室であるかによって、また室内面の反射率の違いによってその分布形状に違いが見られた。すなわち、入射光分布は、被照点の位置および室内特性を光学的に反映していることを示した。

【参考文献】

- 1) 佐々木嘉雄、金子直礼、室井徳雄：照明空間における照明ベクトルと光束密度，照明学会雑誌，第 63 巻，第 7 号，pp.35-42，昭和 54 年
- 2) 野口透：照明のモデリング効果に関する調査研究，照明学会誌，Vol.56，pp.452-456，1981
- 3) 中村洋、慎仁重、古賀靖子、大門昌昭、後藤浩一：建築空間における昼間の光環境の動的変動に関する研究 その 2 オフィス空間の昼光環境について，照明学会誌，第 81 巻，第 2 号，pp.88-97，平成 9 年
- 4) 照明学会編：ライティングハンドブック，オーム社，pp.238-241，1987
- 5) 中村洋、沖允人、小川増美、山村康郎：新しく試作した六面照度計と測定例，日本建築学会大会学術講演梗概集（D），pp.481-482，1987
- 6) 小林朝人、村上泰浩：窓際のモデリングに関する実験的研究，日本建築学会九州支部研究報告〔環境系〕，第 31 号・2，pp.73-76，1989
- 7) 村上泰浩，小林朝人：側窓採光室の入射光分布（鉛直面照度の方向別分布），日本建築学会九州支部研究報告〔環境系〕，第 31 号・2，pp.76-80，1989
- 8) 村上泰浩，小林朝人：2 軸回転式照度測定装置（空間照度計），日本建築学会中国・九州支部研究報告〔環境系〕，第 32 号・2，pp.181-184，1990
- 9) 村上泰浩，小林朝人：2 軸回転式照度測定装置（空間照度計），日本建築学会大会学術講演梗概集（D），pp.171-172，1990
- 10) 村上泰浩，小林朝人：2 軸回転式照度測定装置（空間照度計）その 2 装置の改良と市販測定計器との比較，日本建築学会九州支部研究報告〔環境系〕，第 33 号・2，pp.37-40，1992
- 11) 村上泰浩，小林朝人：2 軸回転式照度測定装置（空間照度計）－ 2，日本建築学会大会学術講演梗概集（D），pp.311-312，1992
- 12) 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評価実験その 1，日本建築学会計画系論文集，第 460 号，pp.11-19，1994

第3章 窓に平行に見るモデリング評価実験

3. 1 研究の目的

窓際での人の顔のモデリングは、昼光による窓面輝度に加え、視対象である人の顔の窓からの距離および室内寸法、窓幅、室内反射率等の室内特性の違いにより、その状態は異なるものと考えられる。実際の教室、事務室等の居室を使って行う窓際でのモデリングの評価実験では、昼光の変動により、実験条件の統一性の確保が難しい。第2章での側窓採光室の窓際への入射光分布の実測結果から、被照点の位置および室内特性の違いによる照度の入射光分布の相違状況が分った。すなわち、入射光分布は、被照点の位置および室内特性を光学的に反映している。そこで、種々の輝度に調光できる人工窓と、実際の窓際での入射光分布測定結果を参考にして種々の入射光分布を作り出す装置を実験室内に設置し、窓際の光環境を模擬的に造り、窓際での人の顔のモデリング評価実験を行うことにした。側窓採光室の窓際では窓と平行に立つ人の顔のモデリングが悪くなるとされる^{1),2)}ので、先ず、窓に平行に立つ人をその正面から見てモデリングの評価を行った。

3. 2 窓際での人の顔のモデリングの評価実験（窓に平行に見るモデリング評価実験）

3.2.1 実験方法

人工窓は、乳白色アクリル板の背後に極く近接させて 40W 蛍光ランプ 28 本を並べ

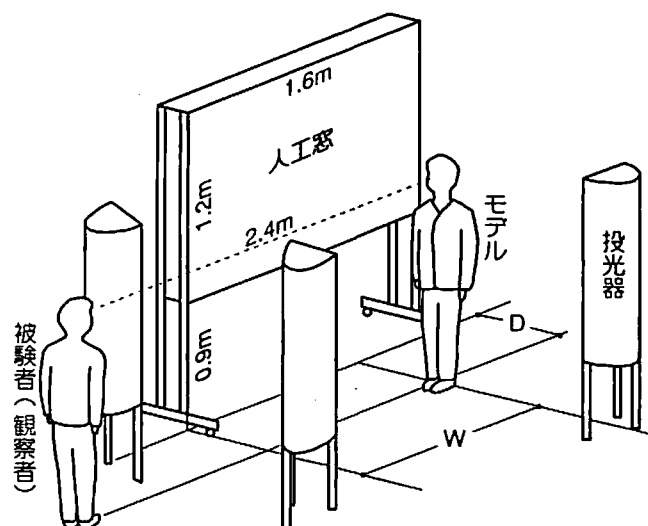


図 3-1 実験見取図

て立て、図 3-1 に示すような $1.2\text{m} \times 1.6\text{m}$ のほぼ均一な輝度の面を作り、種々の輝度に調光できるようにしたものである。これを全面黒塗りの実験暗室内に置き、図のようにこれを窓に見立てて、 $D=0.6\text{m}$ 離れてこれと平行に立つ人（以下モデルと呼ぶ）の顔を窓の反対側（室内側）3 方向から照明する。これらを人工窓とは独立に調光して、モデルの顔の位置に実際の窓際の鉛直面照度分布に似た照度分布を作る。窓面輝度のほか、人工窓の一部を覆うことによって窓の幅 W （モデルの位置から測る）を変え、さらに奥向き鉛直面照度を変える。実験時の窓面輝度、窓幅、奥向き鉛直面照度を表 3-1 のように設定する。

表 3-1 実験条件

窓面輝度	2000, 4000, 6000 cd/m^2
窓 幅	$W/D= 2, 1, 1/2$ ($D=0.6\text{m}$)
室奥向き鉛直面照度	60~680 lx で各 3 段階
被 験 者	男 25 名、女 25 名
モ デ ル	男 22 才

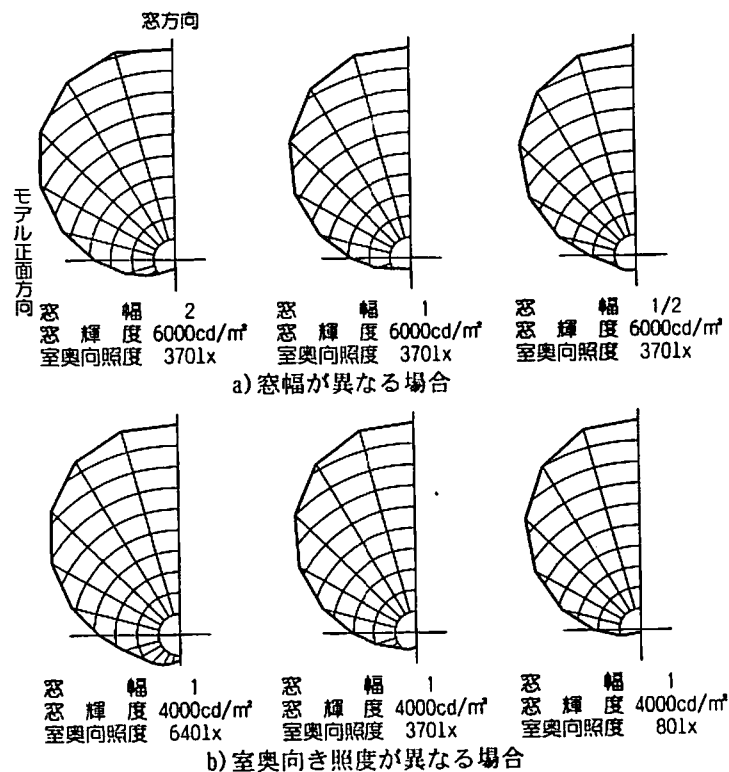


図 3-2 実験時のモデルの顔の位置の鉛直面照度分布の例

どの条件の場合にも 3 方向からの投光を調節して、実測調査で得られた窓際への入射光分布（第 2 章の図 2-3 及び個々の室での実測分布）を参考にして、27 通りの全ての実験条件で、実際の室の窓際の 1m の点の方位別鉛直面照度分布に似た照度分布（被験者側 180° の範囲）を作る。得られた方位別鉛直面照度分布の例を図 3-2 に示す。その際、特に重要であると考えられる、室奥向き鉛直面照度と窓に平行な向きの鉛直面照度の窓向き鉛直面照度に対する割合は、第 2 章の表 2-3 に示す実測結果の範囲になるよう留意した。その割合を表 3-2 に示す。

表 3-2 室奥向き鉛直面照度、窓と平行な向きの鉛直面照度の窓向き鉛直面照度に対する割合[%]（実験時）

	室奥向き	窓と平行な向き
最小値	1.4	13.4
最大値	27.4	59.7
平均値	8.36	32.1
標準偏差	6.73	13.2

モデリング状態の判断実験であるので、モデルの位置の鉛直面照度分布だけではなく、斜めに入射する光による照度を含めた条件設定が好ましい。しかし、高度別照度分布（第 2 章図 2-4）は、方位別鉛直面照度分布（第 2 章図 2-3）に見られた程の、室による違いは見られなかったもので、ここでは方位別鉛直面照度の分布に特に注意を払った。また、中心窩の順応には注視点とその近くの明視野の輝度が圧倒的に寄与しており、周辺部分の視野が暗黒であっても中心窩順応への影響はほとんど無視できるほどに小さい³⁾ことから、モデルの背景の壁面輝度については考慮していない。

被験者には、各実験条件毎にモデルの顔を正面から見て、表 3-3 のカテゴリーに従って、その時に判断したモデルの顔のモデリングの状態をその番号で報告させる。窓幅は W/D で表わし、窓幅 2 は幅の広い窓を想定し、窓幅 1/2 は幅の狭い窓を想定したもので、窓幅 1 はその中間である。

図 3-1 のようにモデルの背後部分の窓は、被験者が見るモデリングに直接関係しないので、一部（幅 0.6m）しか設けていないが、室内で窓の中央部分に立っている人を考えるならば、窓幅 2、1、1/2 はそれぞれモデルの背後の方にも同じ幅の窓が続いているとして、窓の全幅（W/D）が 4、2、1 である窓に相当すると考えてよいであろう。

表 3-3 カテゴリ番号とその意味内容

-
- | | |
|----|---|
| 1. | 顔に立体感がなく平板的に見える。
(顔面の影が薄過ぎて、陰影は非常に乏しい) |
| 2. | 顔の立体感はかなり物足りない。
(顔面の影がかなり薄く、陰影もかなり乏しい) |
| 3. | 顔の立体感はやや物足りない。
(顔面の影がやや薄く、顔面に陰影がやや乏しい) |
| 4. | 顔の立体感は適当で好ましい。
(顔面の影の濃さは適当で、目鼻立ちもはっきりわかる) |
| 5. | 全体としてややどぎつい感じである。
(顔面の影がやや濃い、顔の暗い部分の目鼻立ちはわかる) |
| 6. | 全体としてかなりどぎつい感じである。
(顔面の影がかなり濃い、顔の暗い部分の目鼻立ちは微かにわかる) |
| 7. | 全体として非常にどぎつい感じである。
(顔面の影が濃過ぎて、顔の暗い部分の目鼻立ちがわからない) |
-

3.2.2 結果

被験者のカテゴリ判断の結果から、各実験条件毎に被験者のカテゴリ番号を平均して実験条件毎のモデリング評価値（以下、評価値と呼ぶ）を求めた。

図 3-3 は全被験者平均の評価値と、実験時のモデルの顔の位置の奥向き鉛直面の照度との関係である。上下にとった幅は標準偏差を表す。当然ながら、室内側から顔を照らす照度が低いほど評価値は高い値となり、モデリングはどぎつくなり、照度が高いほどモデリングは平板的になる。その状況は窓幅によって異なるが、その違いは窓の輝度が高いほど、室内からモデルを照らす奥向き鉛直面照度が低いほど大きいことがわかる。

図中の「ややどぎつい」、「好ましい」、「やや物足りない」は、それぞれカテゴリ 5、4、3 を示したものである。図から、かなり大まかな言い方をすれば、300～400lx 程度の奥向き鉛直面照度があれば窓際のモデリングに問題はなく、600～700lx 程度以上になるとモデリングは平板的でやや物足りない状況になることがわかる。

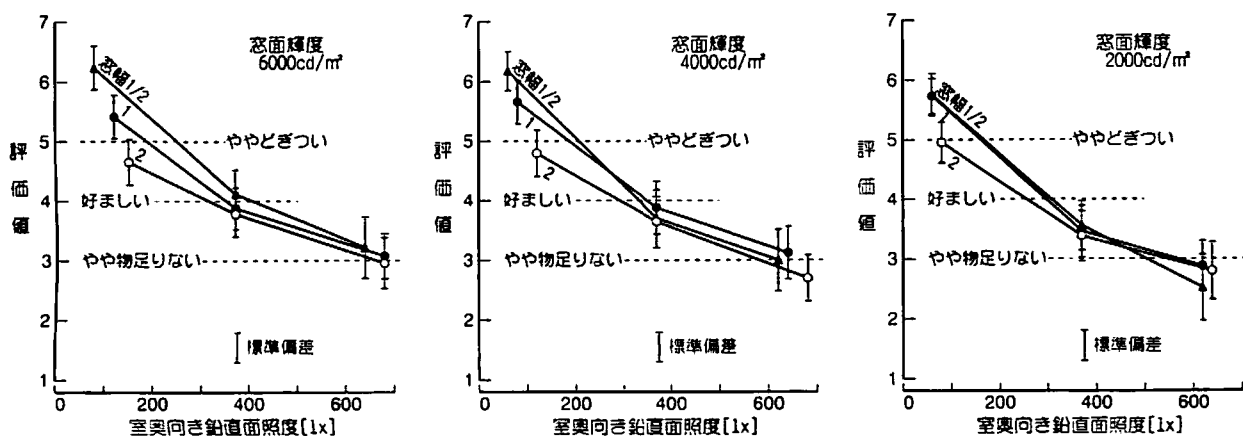


図 3-3 室奥向き鉛直面照度とモデリング評価値

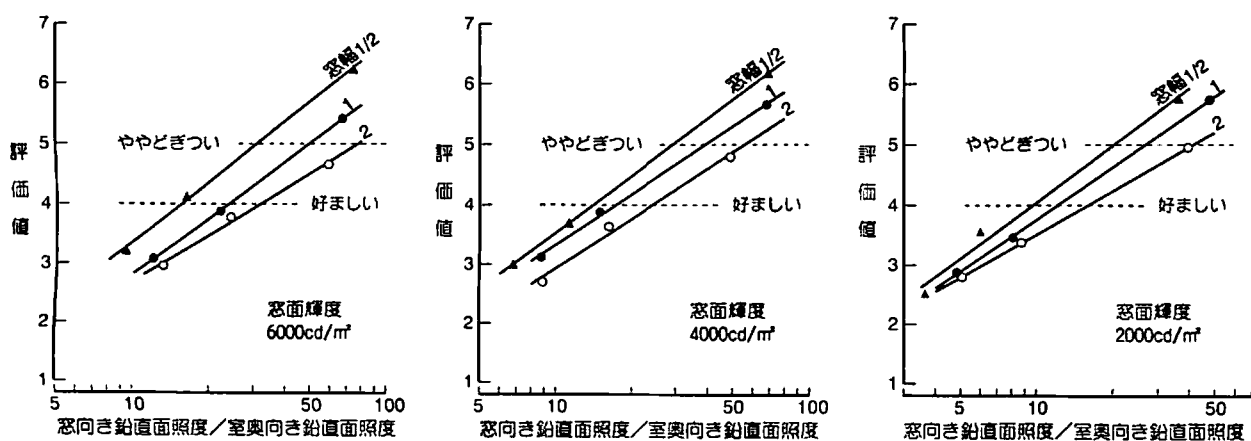


図 3-4 鉛直面照度比とモデリング評価値

3.2.3 考察

(1) 窓際のモデリングの鉛直面照度比による検討

同じ評価値（同じモデリング状態）を得るための鉛直面照度比は窓幅によってかなり異なり、窓の輝度によっても異なる状況を見ることができる。

図から読み取れる「好ましい」および「ややどぎつい」とされた照度比の値は表 3-4 の通りである。田淵の提案値²⁾とは非常に異なる結果となった。

実際の窓際では、太陽直射光の入射がなくても窓向き鉛直面の照度が 10,000lx になることは十分ありうると思われるが、提案値によれば、この時そこに 1,700～5,000lx もの室内からの奥向き鉛直面照度がなければ「好ましい」モデリング状態は得られないこととなり、日常経験する実状には合わないように思われる。今回の実験から得られた「好ましい」状態が得られる奥向き鉛直面照度 300～400lx とは大きな開きである。

同じ評価値のための室奥向き鉛直面照度は、図 3-3 からは窓幅が大きいほど小さくてよいことがわかる。また図 3-4 からは、窓幅が広いほど大きな鉛直面照度比が許されることがわかる。これらは、窓幅が広い場合にはモデルの顔を斜め前方から照らす窓からの光がかなりあるために、室内側からモデルを照らす光が少なくてもモデリングが悪化しにくいからであり、窓幅が狭い場合には、斜め前方からの光が少ないために窓からの光の方向性が強く、モデリングは損なわれ易いからであると考えられる。

窓面輝度が高いほど窓向き鉛直面の照度は高くなるから、図 3-3 に見られるように同じモデリングの状態に対して大きな室奥向き鉛直面照度が必要なのは当然である。しかし、図 3-4 からはその鉛直面照度の比率は一定ではなく、窓面輝度が高いほど大きな鉛直面照度比が許されることがわかる。これは窓面輝度によって目の順応がそれぞれ異なるので、モデルの顔の各部のアパレントブライトネス⁴⁾が異なるためではないかと思われるが、目の順応輝度が不明であるのでこの段階での検討はできない。

(2) 窓際のモデリングの半円筒面照度比による検討

このように見えてくると窓際のモデリングの評価には、その位置の照度や光の入射方向などだけではなく、入射光の総量に関わるような、ある種のスカラー値を考える必要があるのではないかと思われる。

表 3-4 実験結果（照度比）と田淵の提案値

	鉛直面照度比			半円筒面照度比
	W/D=1/2	W/D=2	田淵の提案	
好ましい	9～15	17～30	2～6	4.5～6.7
ややどぎつい	20～30	40～80	10	8～11

図 3-5a) はモデルの顔の位置での、窓側と室内側の半円筒面照度の比（但し 15° 間隔の鉛直面照度による計算値）と評価値との関係である。正確には、半円筒面照度ではなく、各実験条件時に得られたの被験者側の照度分布（図 3-2）から求めた 4 半円筒面照度の比である。モデルの後方にも同じ幅の窓が続いており、窓向きに対し左右対称な鉛直面照度分布となる場合には、半円筒面照度の比と同じになるので、半円筒面照度比と表わした。この図では図 3-3 とは異なり、窓の大きさによる差がはっきりしないから窓面輝度毎に 1 本の直線を挿入してある。

図 3-5b) は a) をまとめたものである。図から同じモデリング状態が得られるときの半円筒面照度比は、窓幅の影響は小さく、主として窓面輝度のみの影響を受けると考え

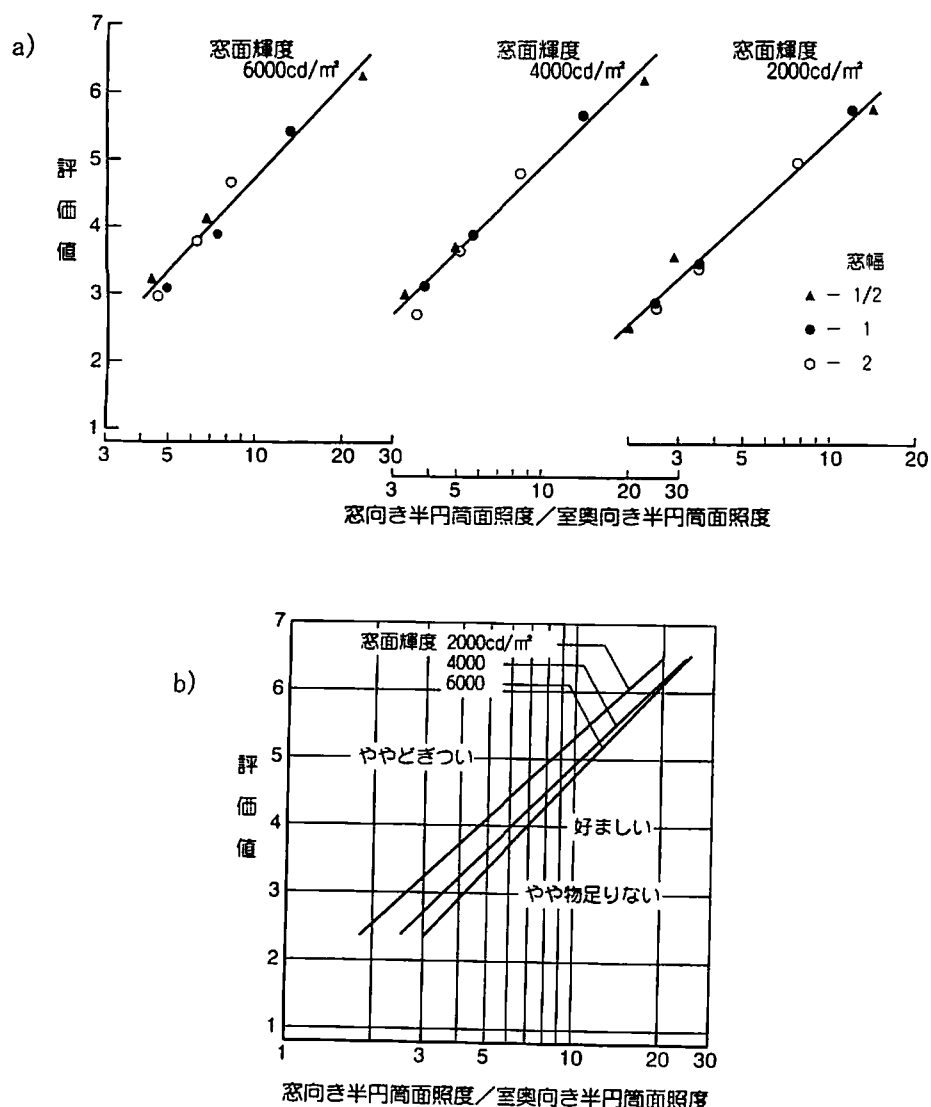


図 3-5 半円筒面照度比とモデリング評価値

てよいことがわかる。図から「好ましい」と「ややどぎつい」に相当する半円筒面照度比を読み取り表 3-4 に示した。

(3) 照度比の出現頻度による検討

図 3-6 と図 3-7 は第 2 章の鉛直面照度分布を実測した片側採光の教室の、68 測定点での鉛直面照度比および半円筒面照度比を求めて（但し 15° 間隔の鉛直面照度による計算）、それぞれその度数を累積図に表わしたものである。

図中にそれぞれの照度比の平均値、上下 5% で切った 90% レンジの上限値、下限値などを示した。この上限値～下限値は、鉛直面照度比で 10.5～34.0 であり、半円筒面照度比では 4.5～9.8 である。このそれぞれの 90% レンジに、表 3-4 の「好ましい」と

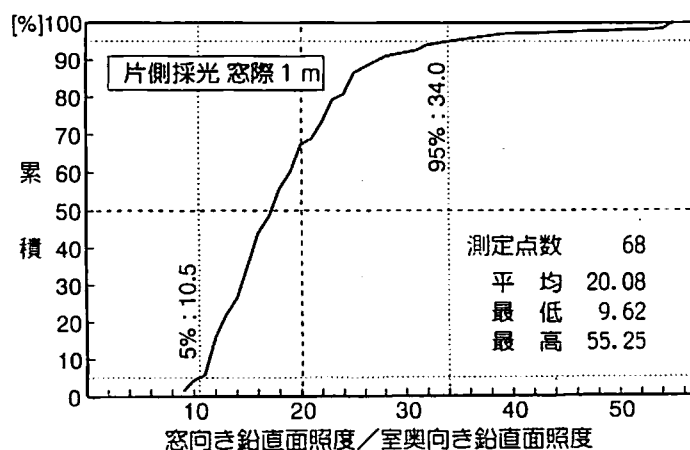


図 3-6 鉛直面照度比の累積度数

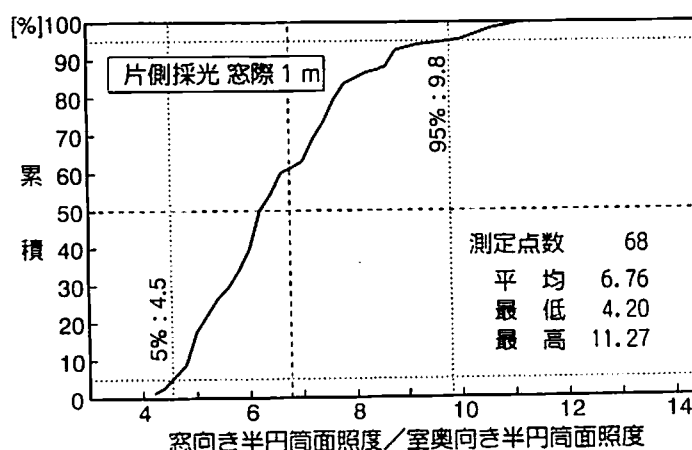


図 3-7 半円筒面照度比の累積度数

されたそれぞれの照度比の範囲が殆ど含まれており、その出現頻度は全体の 90%と 80%である。またこの 90%レンジに「ややどぎつい」範囲の一部が含まれるが、その出現頻度は約 30%あるいは 15%程度である。従って、一般に教室のような室では、窓際のモデリングは概ね「好ましい」状態であり、「ややどぎつい」状態になることは少ないと思われる。

以上のことから、通常の室の窓際では直射日光が入射してモデルの顔が強く照らされているような場合は別として、窓際のモデリングが許容できない程に「どぎつい」状態になることは殆ど起こらないと言えよう。

半円筒面照度比と窓際のモデリングの評価値との対応が良かったからといって、モデリング一般に対して半円筒面照度比が評価指標として適していると即断はできないが、窓際ではモデルへの窓からの直接光の入射方向と範囲が限られるので、半円筒面照度比は窓際のモデリング評価に対しては有力な指標であると考えてよいであろう。

(4) 窓際のモデリングのベクトル・スカラー比による検討

図 3-8 に事務室（窓から 1m の点）での実測及び実験時におけるベクトル・スカラー比を Cuttle^{5),6)}らのモデリングの評価図に重ねてプロットして示す。事務室における窓から 1m の点での照明ベクトルの高度角は、 5° ～ 30° 程度であり、ベクトル・スカラー比は殆ど 1.5 以上であった。野口⁷⁾の事務所ビルにおける昼光のみの測定結果も同様の分布を示している。一方、実験中のモデル顔の位置が窓高さの中央部にあり、この位置における照明ベクトルの高度角は、 0° 、ベクトル・スカラー比も実測結果同様に殆どが 1.5 以上であった。これは、Cuttle らのベクトル・スカラー比によるモデリングの評価によると、全て「どぎつい」となることになる。しかし、今回の実験では「どぎつい」（図中四角印、評価値 5.5 以上）と評価される割合は 7%程度でしかない。また、南ら⁸⁾は昼光による室内の窓際でのモデリングの評価実験を行い、Cuttle らのベクトル・スカラー比の値からは「どぎつい」と予測されるが、実際の評価では「どぎつい」状態は起こりにくかったと述べている。

このように、ベクトル・スカラー比によるモデリングの状態の予測と評価実験による評価値とに食い違いが見られることから、窓際での人の顔のモデリングをベクトル・スカラー比のみで評価するには問題があるものと思われる。

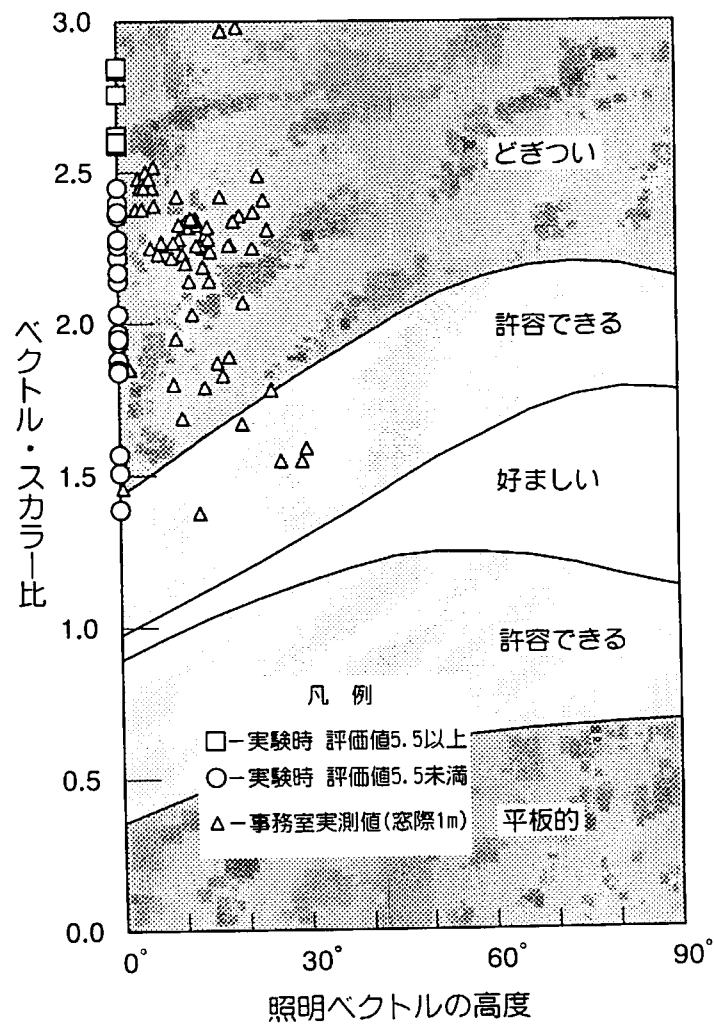


図 3-8 ベクトル・スカラー比によるモデリングの評価

3. 3 結論

窓際での人の顔のモデリングを検討するために、第2章での教室、事務室における窓際の光環境実測調査の測定結果に基づいた光環境を実験室内に作り、人の顔のモデリング評価実験を行った。結果を要約すると、

(1)実験室内において人の顔のモデリング評価実験を行った結果、鉛直面照度比（窓向き鉛直面照度／室内向き鉛直面照度）による検討では、田淵の示す提案値と大きな開きがあった。

(2)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）と窓際のモデリング評価値との間に良い対応が見られた。しかし、モデリング一般に対して半円筒面照度比が評価指標として適しているとは即断はできないが、窓際ではモデルへの窓からの光の入射方向と範囲が限られているので、半円筒面照度比は窓際のモデリング評価に対しては有力な指標であると考えられる。

(3)Cuttleらのベクトル・スカラー比によるモデリングの状態の予測と評価実験による評価値とに食い違いが見られることから、窓際のモデリングをベクトル・スカラー比のみで評価するには問題があるものと思われる。

今回の実験では、窓際での人の顔のモデリングを窓に平行な方向から眺めての評価実験であった。実際の視環境では視対象である相手の顔とそれを見る人との位置関係は窓に平行であるとは限らず様々である。また、相手の顔の向きも正面ばかりとも限らない。今後、このように向い合う人の相互位置関係を含めた窓際での人の顔のモデリングの評価を行なう必要があるものと考えている。更に、実際の昼光照明状態における評価実験を行い、模擬環境での実験との比較検討も必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会編：設計計画パンフレット 30 昼光照明の計画，彰国社，p.26，1985
- 2) 田淵義彦：側窓採光の事務所照明における昼光と人工光の協調の要件，照明学会誌，Vol.66，pp.483-489，1982
- 3) 小林朝人、山下俊雄、村上泰浩：中心窩順応輝度評価に関する実験的研究 第2報 順応性状の概略，日本建築学会論文報告集，第324号，pp.117-126，1983
- 4) 小林朝人：明るさの知覚尺度－APPARENT BRIGHTNESS SCALES－，日本建築学会論文報告集，第178号，pp.83-92，1978
- 5) Cuttle, C. et al. : Beyond the working plane, Proc. of the C. I. E. Conference, P. 67-12, pp. 471-482, 1967
- 6) Cuttle, C. : Lighting Patterns and the Flow of Light, Lighting Research and Technology, Vol. 3, pp. 171-189, 1971
- 7) 野口透：照明のモデリング効果に関する調査研究，照明学会誌，Vol.56，pp.452-456，1981
- 8) 南幸伸、岩田利枝、宿谷昌則、木村建一：昼光を導入した室内のモデリングに関する被験者実験，日本建築学会大会学術講演梗概集（D），pp.1143-1144，1993
- 9) 小林朝人、村上泰浩：窓際のモデリングに関する実験的研究，日本建築学会九州支部研究報告〔環境系〕，第31号・2，pp.73-76，1989
- 10) 村上泰浩，小林朝人：側窓採光室の入射光分布（鉛直面照度の方向別分布），日本建築学会九州支部研究報告〔環境系〕，第31号・2，pp.76-80，1989
- 11) 村上泰浩，小林朝人：窓際のモデリングについて－1，日本建築学会大会学術講演梗概集（D），pp.145-146，1989
- 12) 小林朝人，村上泰浩：窓際のモデリングについて－2，日本建築学会大会学術講演梗概集（D），pp.147-148，1989
- 13) 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評価実験その1，日本建築学会計画系論文集，第460号，pp.11-19，1994

第4章 窓に対して異なる角度から見たモデリング評価実験

4.1 研究の目的

第2章では、窓際での人の顔のモデリングを検討するための基礎資料を得る目的で、先ず、教室や事務室における窓際の光環境を、測定点の立体的照度分布に着目して実測調査し、第3章では、その測定結果に基づいた窓際の光環境を実験室内に作り、窓と平行な方向を向いて立つ人の顔をその正面から眺めてモデリングの評価実験を行った。その結果、窓と平行な方向を向いて立つ人の顔をその正面から眺めた場合のモデリング評価を、モデリング評価によく用いられる”ベクトル・スカラー比”¹⁾を用いたモデリング評価図を使って行うのは問題があることを示した。

会議等の実際の視環境では、視対象である相手の顔とそれを見る人との位置関係は様々であり、常に窓に平行であるとは限らない。また、相手の顔の向きも正面ばかりとは限らない。現実の環境での人の顔のモデリングの印象は、対象となる人の顔の向きや見る人の窓に対する視線の方向によって、様々に変化すると考えられる。しかしながら、側窓採光室の窓際では窓と平行方向を向く人の顔のモデリングが悪くなるといわれている²⁾が、それ以外の方向から見た窓際の人の顔のモデリングについての報告はない。

以上のような複雑な窓際の視環境を適切に評価するためには、視対象となる相手とそれを見る人の位置関係を考慮することが必要であろう。このため本章では、観察者の視線の方向が窓と平行な方向以外を含めて、また、相手の顔の向きも変化させて評価実験を行い、窓際での人の顔のモデリング評価指標の検討を行った。

4.2 窓際での人の顔のモデリングの評価実験(窓に対して異なる角度から見た場合)

前章では、側窓採光室を想定して、種々の輝度に調光できる人工窓と実際の窓際での入射光分布に似た種々の分布を作り出す装置によって、窓際の光環境を模擬的に作成した。そのような条件下で、窓を横にして窓と平行方向を向く人をその正面から見てモデリングの評価実験を行った。実際の視環境では視対象である相手の顔とそれを見る人との位置関係は窓に平行であるとは限らず様々である。また、相手の顔の向きも正面ばかりとは限らない。したがって、本章では観察者の視線方向(窓と平行方向、

窓と垂直方向、その中間の方向）と相手の顔の向き（窓と平行な向き、窓を背にした向き、その中間の向き）の組合せで得られる条件のもとでのモデリングの評価実験を行った。

4.2.1 実験方法

人工窓は第3章の実験と同一のもので、乳白色アクリル板の背後に極近接させて40W 蛍光灯ランプ 28 本を並べて立て、図 4-1 に示すような 1.2m×1.6m のほぼ均一な輝度の面を作り、種々の輝度に調光できるようにしたものである。これを全面黒塗りの実験暗室内に置き、これを窓に見立てる。人工窓の中央に D=0.6m 離れて立つ人（以下モデルと呼ぶ）の顔を窓の反対側（室内側）2 方向から照明する。これらを人工窓とは独立に調光して、モデルの顔の位置に第2章で得られた実際の窓際の鉛直面照度分布を参考にしてそれに似た照度分布を作る。第3章の実験ではモデルを見る位置は常に同じであったため、モデルの背後の壁面輝度については考慮しなかった。しかし、本章の実験では被験者（観察者）のモデルを見る位置が種々に異なるため、背景輝度に対する被験者の目の順応レベルの変化を考慮しなければならない。そのため、人工窓の周囲に反射率 55% のパネルを設置した。この反射率は、第2章で測定した教室の

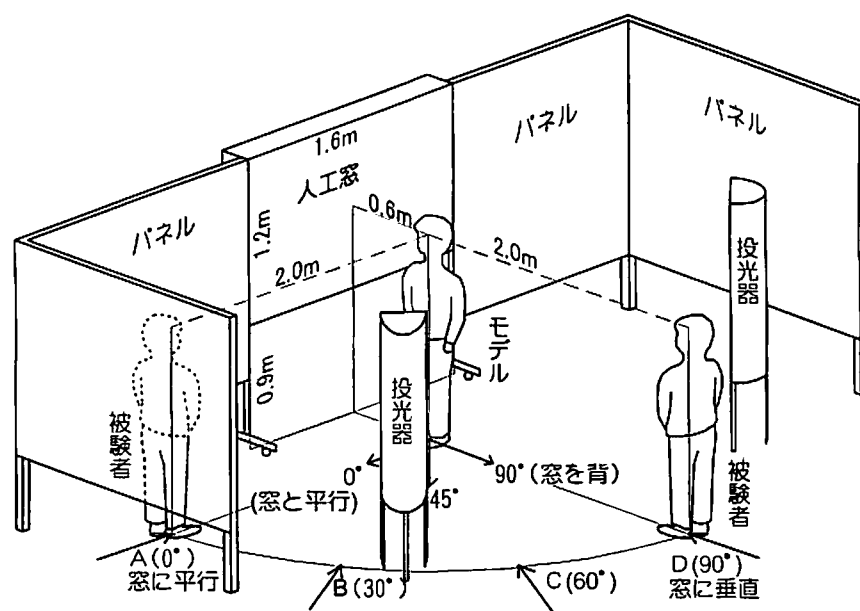


図 4-1 実験見取図

壁面の平均反射率 53.1%とほぼ等しく、現実の環境を模擬したものと考えている。

実験条件を表 4-1 に示す。人工窓の輝度 3 条件、室内向き鉛直面照度 3 条件の組合せの 9 通りの場合についてそれぞれ、モデルの向き各々 3 条件、被験者の位置 4 条件

表 4-1 実験条件

光環境 条件	人工窓の輝度	2000、4000、6000 [cd/m^2]
	室内向き鉛直面照度	150、300、600 [lx]
観 察 条 件	被験者の位置 (窓面との角度)	A(0°) [窓と平行な向き]、 B(30°)、 C(60°)、 D(90°) [窓と垂直な向き]
	モデルの向き (窓面との角度)	0° [窓と平行な向き]、 45° 、 90° [窓を背]
	被 験 者	男 12 名、女 18 名
	モ デ ル	女 22 才(ショートヘアー)

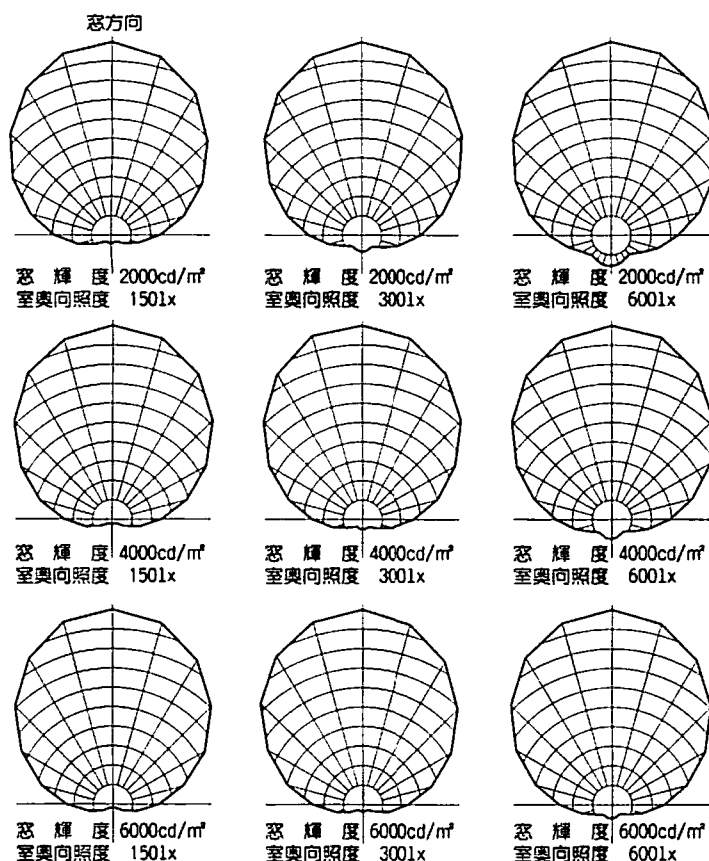


図 4-2 モデルの目の高さにおける方位別鉛直面照度分布

の組合せの合計 108 通りの実験を行う。この 9 通りの実験条件の各場合について、実験室内に実際の教室や事務室の窓際の 1m の点の方位別鉛直面照度分布に似た照度分布を作る。得られた方位別鉛直面照度分布の実測例（9 通り）を図 4-2 に示す。その分布状況は窓向き・室奥向き方向を軸としてほぼ左右対称に分布している。室奥向き鉛直面照度と窓に平行な向きの鉛直面照度の窓向き鉛直面照度に対する割合は、第 2 章同様に実測結果の範囲になるよう留意した。その割合を表 4-2 に示す。

被験者は、各実験条件毎に被験者の位置から 2.0m 離れたモデルの顔を見て、表 4-3 のカテゴリ（第 3 章と同一）に従って、モデルの顔のモデリングの状態を評価する。

表 4-2 室奥向き鉛直面照度、窓と平行な向きの鉛直面照度の窓向き鉛直面照度に対する割合

	室奥向き	窓と平行な向き
最小値	1.66	23.64
最大値	15.63	34.11
平均値	6.31	27.18
標準偏差	4.38	3.51

表 4-3 カテゴリ番号とその意味内容

1. 顔に立体感がなく平板的に見える。
(顔面の影が薄過ぎて、陰影は非常に乏しい)
2. 顔の立体感はかなり物足りない。
(顔面の影がかなり薄く、陰影もかなり乏しい)
3. 顔の立体感はやや物足りない。
(顔面の影がやや薄く、顔面に陰影がやや乏しい)
4. 顔の立体感は適当で好ましい。
(顔面の影の濃さは適当で、目鼻立ちもはっきりわかる)
5. 全体としてややどぎつい感じである。
(顔面の影がやや濃い、顔の暗い部分の目鼻立ちはわかる)
6. 全体としてかなりどぎつい感じである。
(顔面の影がかなり濃い、顔の暗い部分の目鼻立ちは微かにわかる)
7. 全体として非常にどぎつい感じである。
(顔面の影が濃過ぎて、顔の暗い部分の目鼻立ちがわからない)

ただし、被験者は自分の位置とモデルの向きの組み合わせで必ずしも顔の正面を見るとは限らない。被験者が報告した数字をカテゴリ・スコアとして評価値とする。被験者から見たモデルの背後の輝度分布はその立つ位置により異なるので、安定した順応状態になるように、モデルの顔を1分間程度見た後にカテゴリ判断の報告をさせた。実験条件が108通りと第3章に比べて多く、1人の被験者が実験を終了するまで2時間以上要したので、被験者の申し出により適宜実験室内で休憩を取った。しかし、1回（1条件）の評価に要した時間は、被験者によって1～2分程度で比較的短く、評価中の視線がモデルの顔から離れることは少なかったと思われる。

4.2.2 結果

被験者のカテゴリ判断の結果から、各実験条件毎に被験者のカテゴリ・スコアを平均して実験条件毎のモデリング評価値(以下、評価値と呼ぶ)を求めた。

図4-3は全被験者平均の評価値と、実験時のモデルの顔の位置での室内向き鉛直面照度(室内側からモデルを照らす照度)との関係である。図は人工窓の窓面輝度、モデルの向き毎に分けて示し、図中の各線は被験者のモデルを見る位置毎に結んである。上下にとった幅は標準偏差を表し、線が重なるため左右にずらして示してある。第3章と同様に室内側からモデルを照らす照度が高くなるにつれて、評価値は低くなっている（「どぎつい」から「好ましい」、あるいは「好ましい」から「平板的」に変化する）。この変化傾向はいずれの図においても見られるが、その傾向は被験者のモデルを見る位置が窓と平行向きの位置(被験者位置 A(0°))から窓と垂直向きの位置(被験者位置 D(90°))へと角度が大きくなると、概ね評価値は高くなる（「好ましい」から「どぎつい」に変化する）。室内側からモデルを照らす照度が低い（150lx）状態で、窓に垂直な向きかそれに近い位置（被験者位置 C、D）からモデルを見た場合のモデリング評価値は「ややどぎつい」以下にはなっていない。逆に、窓に平行向きの位置(被験者位置 A)から見たモデリング評価値は「ややどぎつい」を越える状況にないことが読みとれる。このように、室内向き鉛直面照度が高くなればモデリング評価値は低くなる状況は第3章と同様である。しかし、窓面の輝度、室内側からモデルを照らす照度が同じであっても、モデルを見る位置(角度)が窓と向かい合う角度の違いにより窓際のモデリング評価が大きく異なることがわかる。

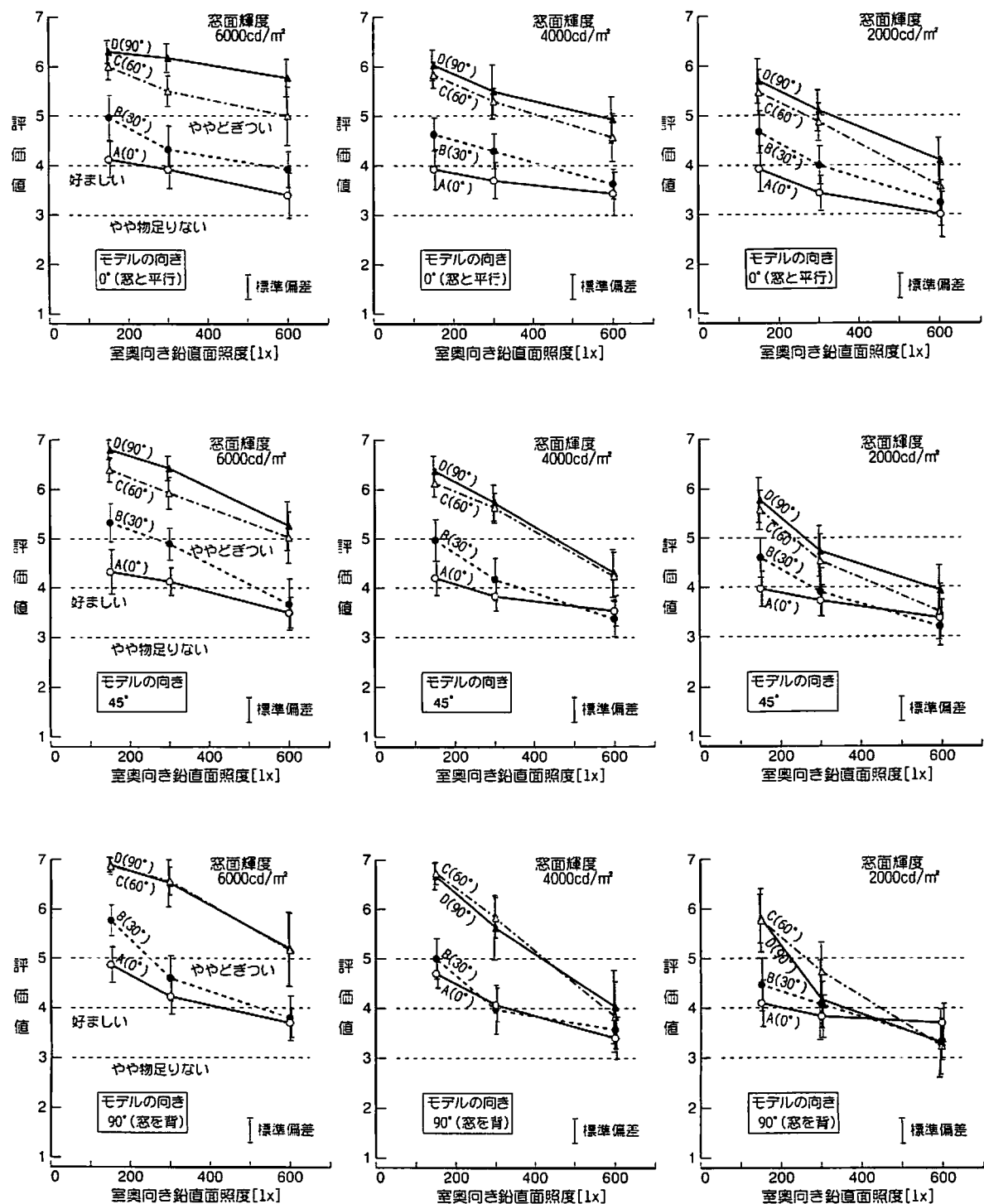


図 4-3 室内向き鉛直面照度とモデリング評価値

4.2.3 考察

これまで、モデリングの評価手法として様々な指標が提案されてきた。ここでは先ず、従来からモデリングの評価に使われてきた簡単な物理変数の予測精度について検討する。次に、窓からの入射光量あるいは全入射光量に関する変数、室内向き方向からの入射光量に関する変数、被験者視線方向からの入射光量に関する変数の3変数を用いた重回帰モデルの妥当性についても検討する。

(1) 窓際のモデリングの半円筒面照度比による検討

第3章では半円筒面照度比と窓際のモデリング評価値との間に良い対応が見られたことを示した。第3章では窓を横にして窓と平行方向を向く人の顔をその正面から見たモデリング評価実験であった。そこで、今回の全実験条件の中から第3章と同様な被験者とモデルの位置関係、つまり被験者位置 $A(0^\circ)$ 、モデルの向き (0°) の何れも窓と平行で互いに向かい合う条件だけを選び出した。それらの半円筒面照度比と評価値との関係を第3章の結果と重ねて示したものが図4-4である。半円筒面照度比はモデルの顔の位置での窓側と室内側の半円筒面照度（但し、この図では、第3章との比較のために、被験者側の4半円筒面照度で 15° 鉛直面照度による平均値）の比としている。今回の実験結果は第3章の回帰直線群の右側に近接あるいは重なる位置にプロッ

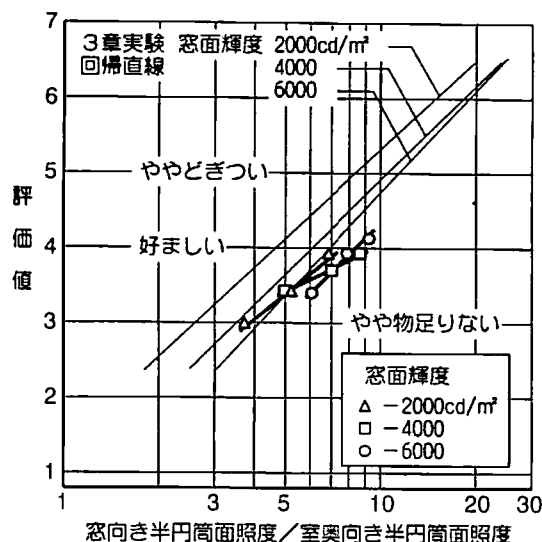


図 4-4 半円筒面照度比とモデリング評価値（窓と平行な向き）

トされている。窓面輝度毎に回帰直線を挿入すると、いずれも相関係数は 0.98 以上と高く、窓面輝度が 4000[cd/m²] 以外の直線の傾きは第 3 章とほぼ同じか近い値である。輝度毎の回帰直線が第 3 章に比べ右方に移行しているのは、第 3 章ではモデルの後ろ側からの入射がなく、第 3 章と本章の実験装置のモデルの顔の位置での鉛直面照度分布状況が若干異なることにより、半円筒面照度比に違いが出たのではないかと考えられる。これらのことより、窓を横にして窓と平行方向を向く人の顔をその正面から見たモデリング評価は、半円筒面照度比が有効であることが示され、第 3 章の知見を支持している。

(2) 窓際のモデリングの被験者の位置(窓との角度)およびモデルの向きによる検討

窓際に立つモデルを見る位置が窓と平行ではない場合に、モデルへの照明状況が変わらなくても、その見る位置で評価値が異なることは 4.2.2 の結果(図 4-3)で簡単に示した。図 4-5 は評価値と被験者のモデルを見る位置(窓に対する角度)およびモデルの向きの関係を示したものである。室奥向き鉛直面照度が 150[lx] の場合(図 4-5 a、b、c)、評価値は 4 以上の「好ましい」から「非常にどぎつい」の範囲にプロットされていて、被験者の位置が窓平行向きから窓垂直向きになるに従い評価値は高くなっている。また被験者位置が窓垂直(D(90°))とそれに近い窓との角度が 60° の位置では評価値があまり変わらない。室奥向き鉛直面照度が 600[lx] の場合(図 4-5 d、e、f) は、室奥向き鉛直面照度が 150[lx] の場合(図 4-5 a、b、c) に比べて評価値が低く、被験者の位置による評価値の違いも小さくなっている。図全体を通して、人工窓輝度が高いほど、また室奥向き鉛直面照度が低いほど被験者の位置による評価値の違いは大きくなる傾向が読みとれる。

窓際のモデリング評価はその見る位置により異なるが、その違いは窓からの光と室奥からの光の強さの状況に左右される。各図において、モデルの向きの評価値への影響は被験者の位置による影響より小さいことが分かる。しかし、その影響の程度は人工窓の輝度、室奥向き鉛直面照度により異なり、室奥向き鉛直面照度が 150[lx] の場合(図 4-5 a、b、c) は、人工窓の輝度が高くなるとモデルの向きによる評価値の違いが大きくなっている。室奥向き鉛直面照度が 600[lx] の場合(図 4-5 d、e、f) は、モデルの向きによる評価値が被験者の位置 A ではモデルの向き 0° → 45° → 90° の順に大きくなり、それ以外はモデルの向き 90° → 45° → 0° の順に大きくなっていて、被験者の位置によりその増加傾向が異なっている。したがって、モデルを見る位置お

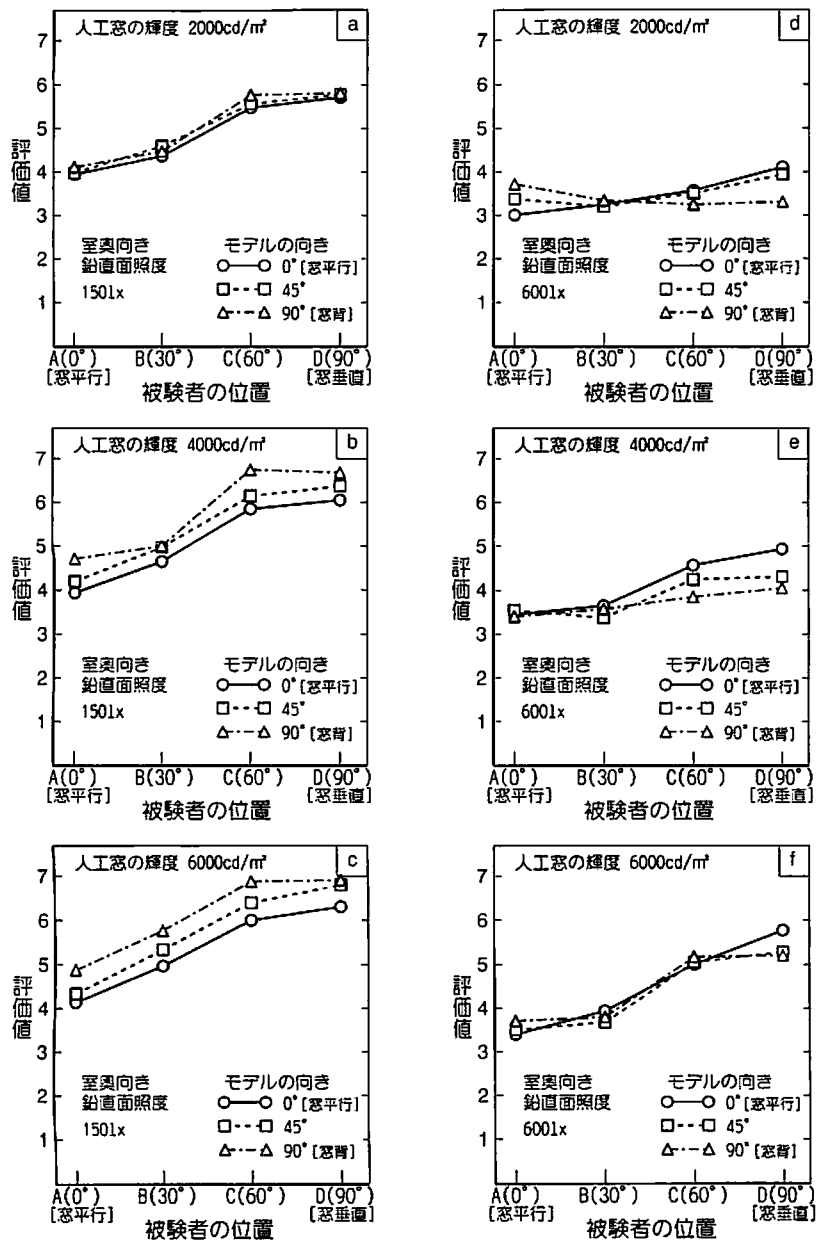


図 4-5 被験者のモデルを見る位置とモデリング評価値

よびモデルの向きによる窓際のモデリング評価への影響を窓に対する角度だけの単純な指標で表すことは困難であると考えられる。

(3) 窓際のモデリングの顔面輝度による検討

Moon と Spencer ³⁾ はモデリング評価指標に立体視対象物の最大対最小の輝度比 (Modelling Ratio)を提案し、その値が 2:1~6:1 の時「受け入れられる」、3:1 が「最良」であるとしている。そこで、各実験条件毎にモデルの顔の輝度を測定した。測定には

トプコン BM-5 型輝度計を使用し、各被験者の位置から視角 0.2° （周辺部は 0.1° ）でモデルの顔面部分をほぼくまなく測定し、顔面輝度の最高輝度、最低輝度、平均輝度、最高対最低輝度比を求めた。表 4-4 は各実験条件毎の測定値の中から最大値と最小値とその比を示したものである。

表 4-4 顔面輝度値

	最高輝度 [cd/m ²]	最低輝度 [cd/m ²]	平均輝度 [cd/m ²]	最高対最 低輝度比
最大値	1661	185.7	394.2	40.0
最小値	80.6	15.7	30.3	2.11
最大／最小	20.6	6.7	13.0	

最高輝度の最大と最小の比は最低輝度のそれに比べ大きいことがわかる。また、最高対最低輝度比は約 2:1～40:1 の範囲となっている。モデリング評価値と顔面輝度の最高輝度、最低輝度、平均輝度、最高対最低輝度比との相関を求めた。それぞれの相関係数の絶対値は 0.1～0.3 程度と低いことから、顔面輝度あるいは顔面輝度の最高・最低輝度比は窓際の人の顔のモデリング評価に有効な評価指標とは言い難い。

モデリングは顔面輝度あるいはその輝度分布状況以外に、顔と背景の輝度差あるいは輝度比による影響が考えられる。そこでモデルの顔の周辺約 60° の範囲の背景輝度を輝度計の測定視角 1° で 25 点測定して、その平均値を背景輝度とした。次に、実験条件毎の顔の輝度と背景輝度との比を求めた。図 4-6 はモデリングの評価値とその輝度比(顔面輝度／背景輝度)との関係を示したものである。相関係数の絶対値は 0.719 となり、前述の顔面輝度の最高輝度、最低輝度、平均輝度、最高対最低輝度比の相関係数と比べると高い値を示した。図中の各点は被験者の位置 A(0°)、B(30°)と C(60°)、D(90°)に分かれて分布しており、輝度比が被験者の位置を説明し切れていないことが分かる。図中より評価値 4 に対する顔面輝度・背景輝度比を読み取ると 0.03～1 までの広範囲な値になることから、窓際のモデリングが好ましい状態を顔面輝度・背景輝度比で特定することは難しいと考えられる。

(4) 窓際のモデリングの空間照度による検討

第 3 章において、窓際での人の顔のモデリング評価を Cuttle のベクトル・スカラー

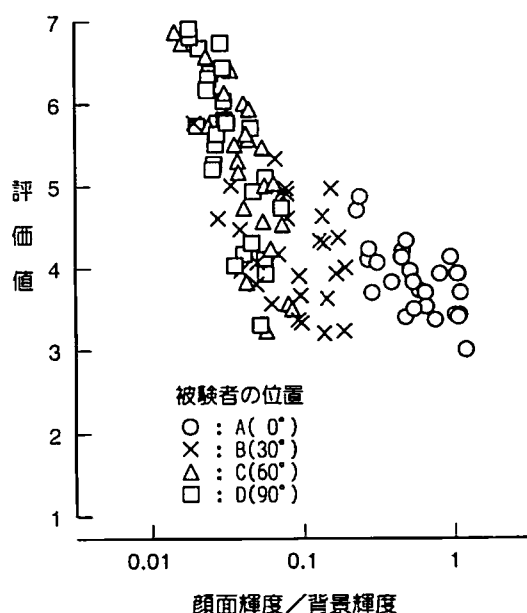


図 4-6 顔面輝度／背景輝度とモデリング評価値

比を用いた評価図で評価するのは問題があることを示した。この評価図は照度ベクトルと視線との角度が $30^{\circ} \sim 120^{\circ}$ その適用範囲とされていて、本実験での照度ベクトルと視線との角度は $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$ であるのでその適用範囲を超えている。

半円筒面照度比は窓と平行に見るモデリング評価に有効な指標であることは前述した。この半円筒面照度比は窓向き半円筒面照度と室内向き半円筒面照度の比であるので、被験者の位置、モデルの向きに関わらず同じ値をとる。また、その比をモデルの顔の位置での左右の半円筒面照度比と考えると、今回の実験のように窓中央に立つモデルを窓に垂直な位置から見た場合には、モデルへの左右からの入射光バランスが窓の輝度変化あるいは室内からのモデルへの入射光の変化には関わらず一定となり、モデルの顔の位置での左右の半円筒面照度比はほぼ 1 となる。これらのことから、モデルを見る位置が窓と平行に見る状態以外のモデリング評価指標に半円筒面照度比をそのまま適用できないことがわかる。

川上ら⁴⁾、鹿倉ら⁵⁾、松浦⁶⁾は、いずれも単一光源による実験において、人の顔の表情の識別あるいは顔のモデリング評価に顔の正面を中心とした半円筒面照度が有効であることを示している。しかし、いずれの著者も顔への光源入射水平角が 120° を超えるとその有効性が失われると指摘している。図 4-7 は評価値と被験者方向に対するモデルの顔の位置での半円筒面照度(以下、被験者向き半円筒面照度と呼ぶ)の関係を示したものである。相関係数は 0.532 と低いものの、被験者位置ごとに特徴的な分

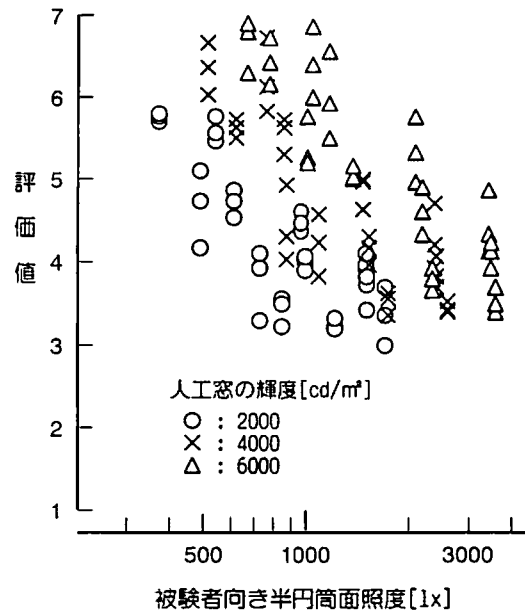


図 4-7 被験者向き半円筒面照度とモデリング評価値

布は見られず、図のように窓面輝度毎の相関が見られる。

(5) 窓際のモデリングの顔に生じる明暗による検討

川上ら⁴⁾は、顔に生じる陰影の影響を含めて正確に論じれば、表情の識別に要する顔の明るさを一義的に半円筒面照度では表せないとしている。鹿倉ら⁵⁾は顔の中の照らされている部分の面積が顔の見え方の評価に影響を及ぼすと考えられるとしている。人の顔は曲面であるため、顔に生じる明暗部分および陰影は照明状況が同じでも見る方向によって異なった様子に見える。

そこで、モデルの顔に生じている明暗部分の状況を調べた。実験条件毎のモデルの顔をモノクロフィルムで撮影し、その写真をスキャナで読み取り、パソコン画面に 16 段階の濃淡で表示する。その画面内の顔の部分のみについて、元の写真と明暗状態を見比べながら、ある濃度段階を境に 2 段階の濃淡(明暗)に変更する。その画面の 2 つの領域のドット数をカウントし、実験条件毎のモデルの顔の明暗面積比を求めた。この明暗面積比は被験者の視線方向から見たモデルの顔の明暗状況あるいは顔への入射光状況を表していると考えられる。このようにして求めた明暗面積比と評価値との関係を図 4-8 に示す。評価値との相関係数は 0.761 で、これまで求めた評価値との相関係数の中では最も高い数値を示した。室内向き鉛直面照度が 150lx の分布は非常に高

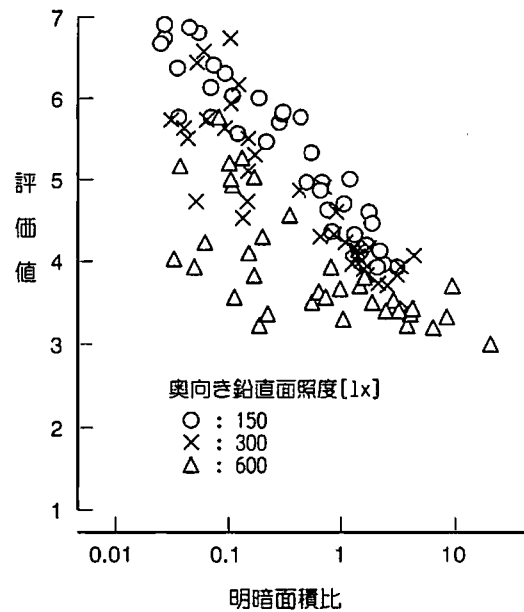


図 4-8 写真による明暗面積比とモデリング評価値

い相関が見られるものの、他の室奥向き鉛直面照度を含めて、評価値 4 (好ましい) に対する明暗面積比を図から読みとると広範囲に渡っている。

(6) 明るさの知覚量による検討

被験者の眼の順応がモデリング評価に影響することは十分予想されることであり、アパレント・ブライトネス⁷⁾、アパレント・コントラストがモデリング評価に有効であれば、モデリング評価への明るさ知覚量を適用できることを示すことになる。順応の影響を探るためにはまず順応輝度を特定しなければならない。しかし、不均一な視野における順応輝度を求める適確な方法が未だ得られていない。網膜中心窩順応輝度が順応輝度に大きく寄与することは知られている。モデルの顔を見る視野角は顔の大きさとその距離から、水平角約 4.3° 、垂直角約 5.2° 程度で中心窩視野角(約 1.5°) を包含しているが、顔の輝度分布は不均一であり、更に被験者位置 C(60°)、D(90°) では、モデルの顔の周囲近傍は顔より高輝度の窓となり、この高輝度な窓輝度が中心窩順応輝度へ及ぼす影響は無視できないと考えられる⁸⁾。これらのことから被験者の眼の順応輝度レベルが特定できないため、アパレント・ブライトネスやアパレント・コントラストを窓際のモデリング評価指標に導入することは現時点では困難であると考えられる。

4.2.4 窓際のモデリングの重回帰分析による検討

上述のように、窓際のモデリング評価を、評価値と種々の測光量などの説明変数との対応について考察を行ったが、いずれも単独の或いは複数の測光量の商や積を使って窓際のモデリングをよく説明できるとは言いがたい。そこで、評価値を目的変数とし、モデルの位置での種々の測光量、明暗面積比などを説明変数として重回帰分析を行い、各説明変数の評価値への寄与の程度と重回帰式による評価値の説明力の検討を行った。表 4-5 は説明変数に用いた変数のリストである。回帰式が指数関数の積の形で表すことができるように、計算には変数の値の対数値を用いた。寄与率や分散分析の検討の結果、以下の 3 つに分類した変数を用いた重回帰式が最適であると判明した。

表 4-5 重回帰式に用いた説明変数名一覧（〔 〕内は略号、右記号は分類）

1) 室内向き鉛直面照度[Evi]	:B
2) 室内向き半円筒面照度[Ehi]	:B
3) 窓向き鉛直面照度[Evo]	:A
4) 窓向き半円筒面照度[Eho]	:A
5) 円筒面照度[Es]	:A
6) 被験者向き鉛直面照度[Evs]	:C
7) 被験者向き半円筒面照度[Ehs]	:C
8) モデル向き鉛直面照度[Evm]	
9) 半円筒面照度比[Rh]	:A, B
10) 窓面輝度[Lw]	:A
11) 顔面輝度[Lf]	:C
12) 背景輝度[Lb]	:C
13) 明暗面積比[Rp]	:C
14) ベクトル・スカラー比[Rv]	

$$\hat{y} = k \cdot A^a \cdot B^b \cdot C^c$$

\hat{y} : 評価値の推定値

A: 窓からの入射光量あるいは全入射光量に関する変数

B: 室内向き方向からの入射光量に関する変数

C: 被験者視線方向からの入射光量に関する変数

k, a, b, c: 係数

この 3 種類の変数には、標準偏回帰係数の検討から変数 A(窓からの入射光量あるいは全入射光量に関する変数)として、窓向き鉛直面照度、窓向き半円筒面照度、窓面輝

度、円筒面照度が選ばれた。同様に変数 B(室内向き方向からの入射光量に関する変数)として、室内向き鉛直面照度、室内向き半円筒面照度が、変数 C(被験者視線方向からの入射光量に関する変数)として、被験者向き半円筒面照度、明暗面積比が選ばれた。

この重回帰式に変数 C(被験者視線方向からの入射光量に関する変数)として、被験者向き半円筒面照度[Ehs]を用いた場合に、最も重相関係数が高かったのは変数 A として円筒面照度[Es]、変数 B として室内向き半円筒面照度[Ehi]を用いた場合であった。この場合の 3 変数の標準偏回帰係数も 0.9 以上と高い値を示した。これらの変数に対する係数を求め、評価値推定式を求めた。評価値とこの回帰式によって求めた評価値の推定値との関係を図 4-9 に示す。相関係数は 0.954 と高く、図中の 45° の直線(評価値=推定値)上にはほぼ均等に分布している。ただ、被験者向き半円筒面照度はモデルの向きに関わらず同一値をとるので、図中の被験者位置を示すマークはモデルの向き(3 種類)に対して縦に分布している様子がわかる。A の変数である円筒面照度[Es]を窓向き半円筒面照度[Eho]に変えて計算しても、その相関係数は 0.953 と僅かながら小さ

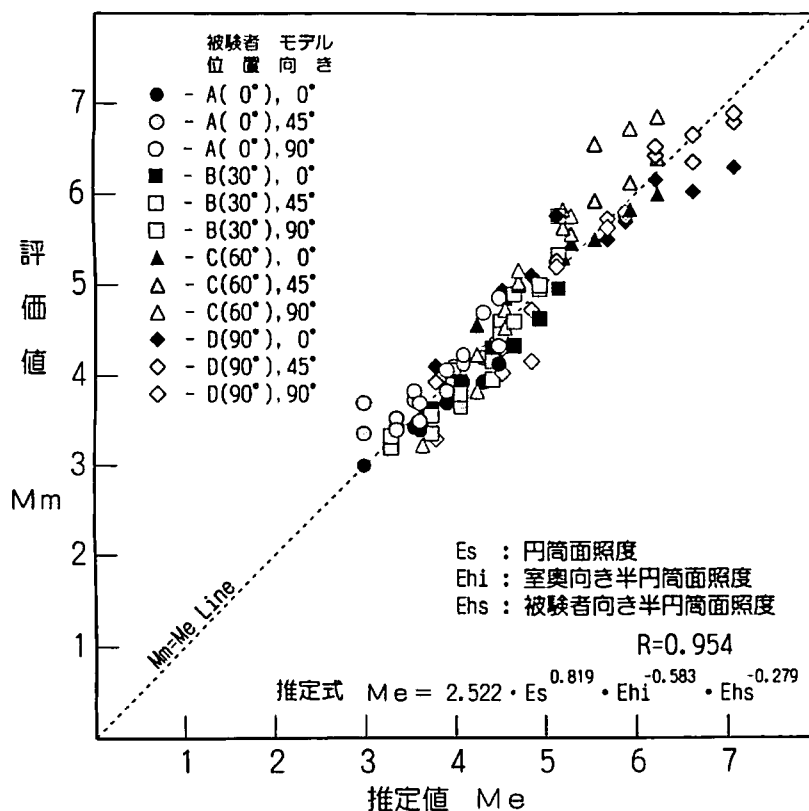


図 4-9 重回帰式による推定値と評価値との関係 - I

くなる程度でグラフ化して比べてもその違いはわからない。

重回帰式に、変数 C として明暗面積比[Rp]を用いた場合にも、A、B の変数にそれぞれ円筒面照度[Es]、室奥向き半円筒面照度[Ehi]を用いた場合が最も高い相関を示した。図 4-10 は、評価値とこの回帰式によって求めた評価値の推定値との関係を示したものである。相関係数は 0.932 と変量に被験者向き半円筒面照度[Ehs]を用いた場合より相関が低くなったが、図中にモデルの向きの違いによる規則正しい分布は見られない。これは被験者向き半円筒面照度がモデルの向きに関わらず一つの値をとるのに対し、明暗面積比はモデルの向き毎に異なる値をとるためである。

これらの結果から、窓際のモデリングを的確に評価するための指標を特定することは本章ではまだできないが、窓からの入射光量あるいは全入射光量に関する変数、室奥向き方向からの入射光量に関する変数、被験者視線方向からの入射光量に関する変数の 3 つの変数による重回帰モデルが有効であることが示された。

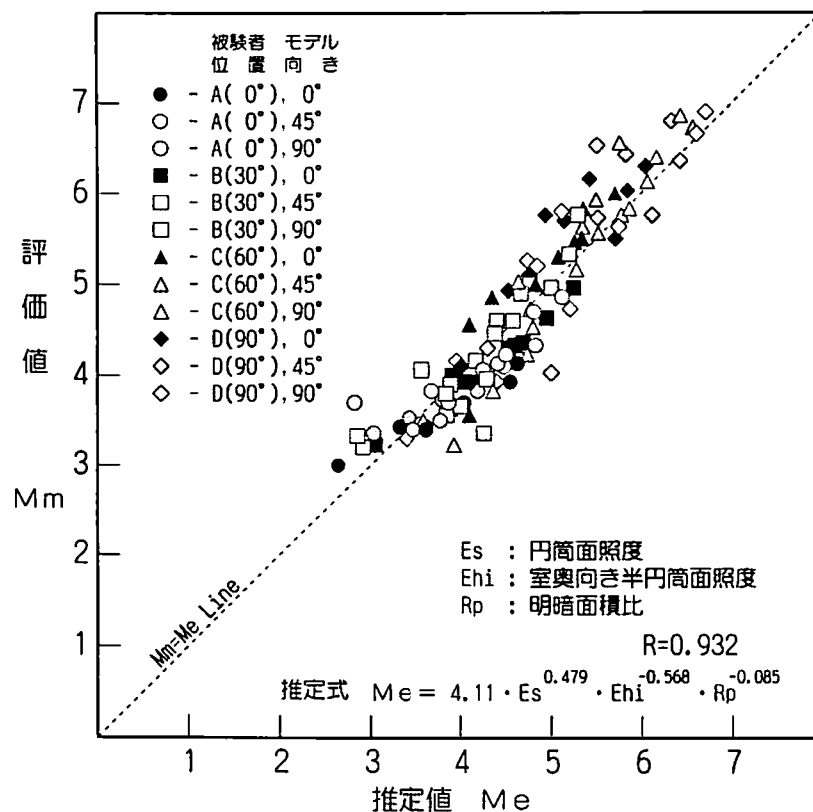


図 4-10 重回帰式による推定値と評価値との関係－Ⅱ

4. 4 結論

窓際に立つ人の顔を窓と平行な方向以外から、あるいは相手の顔を正面以外から見てモデリング評価実験を行い、窓際での人の顔のモデリング評価指標の検討を行った。結果を要約すると、

(1)モデルを見る位置（窓との角度）およびモデルの向きによってモデリング評価に違いが見られた。しかし、その程度は窓からの光と室内からの光の強さに左右されることがわかった。

(2)実験条件の内、第3章と同じ窓と平行に見る状態でのモデリング評価ではその評価指標に窓向きと室内向きでの半円筒面照度比が有効であることを示した。

(3)顔面の最高対最低輝度比、ベクトル・スカラー比は窓際のモデリング評価に有効な指標とは言い難いことを示した。

(4)顔面輝度／背景輝度、および顔の明暗面積比と評価値とにある程度高い相関が見られたが、いずれもモデリングが好ましい範囲を特定する事はできなかった。

(5)窓際でのモデリングの評価を種々の測光量を変数とした単独あるいは複数の変数の積や商の形で旨く説明できないため、重回帰分析による検討を行った。窓際のモデリング評価指標は窓からの入射光量あるいは全入射光量に関する変数、室内向き方向からの入射光量に関する変数、被験者視線方向からの入射光量に関する変数の3つの変数による重回帰モデルが有効であることを示した。

自然採光照明下の窓際では強い外からの光と、比較的弱い室内からの光が混在する複雑な照明環境を呈している。このような現実の環境でのモデリング評価実験を行い、提案した重回帰モデルの妥当性を検証する必要がある。

【参考文献】

- 1) Cuttle C. : Lighting Patterns and the Flow of Light, lighting Research and Technology, Vol.3, pp.171-189, 1971
- 2) 照明学会編：ライティングハンドブック，オーム社，p.219，1987
- 3) Moon P. and Spencer D. : Modelling with light, Jour. Franklin Institute, Vol.251, pp.453-466, 1951
- 4) 川上幸二：表情の識別と半円筒面照度の関係，照明学会第70巻，第6号，pp.36-41，1986
- 5) 鹿倉智明，田中俊彦，金子直礼：半円筒面照度と顔の見え方の研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.31-32，1988
- 6) 松浦邦男：顔のモデリングと半円筒面照度に関する実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1149-1150，1993
- 7) 小林朝人：明るさの知覚尺度－APPARENT BRIGHTNESS SCALES－，日本建築学会論文報告集，第178号，pp.83-92，1978
- 8) 小林朝人，山下俊雄，村上泰浩：中心窩順応輝度評価に関する実験的研究第2報順応性状の概略，日本建築学会論文報告集，第324号，pp.117-126，1983
- 9) 村上泰浩，井手孝治，矢野隆，小林朝人：窓際のモデリングとシルエット現象の評価に関する研究 その1 実験の概要と結果，日本建築学会九州支部研究報告，第32号，pp.1-4，1991
- 10) 井手孝治，村上泰浩，矢野隆，小林朝人：窓際のモデリング評価に関する研究 その3 窓面輝度、奥向き鉛直面照度、明暗面積比の影響，日本建築学会九州支部研究報告，第33号・2，pp.25-28，1991
- 11) 井手孝治，村上泰浩，矢野隆，小林朝人：窓際のモデリングについて－3，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.75-76，1991
- 12) 井手孝治，村上泰浩，矢野隆，小林朝人：窓際のモデリングについて－4，日本建築学会大会学術講演梗概集D，pp.313-314，1992
- 13) Yasuhiro Murakami, Takashi Yano, Asato Kobayashi : Modelling of human face at a window, LUX EUROPA 1993, pp.681-684, 1993
- 14) 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

第5章 現実の居室でのモデリング評価実験

5.1 研究の目的

最近、昼光照明の積極的利用の観点から、オフィスの昼間時における人工照明制御装置の開発・研究が行われつつある。高性能センサーの発達で種々の制御が可能となりつつあるが、省エネルギー効果を主眼としている。人々にとって精神的に豊かな環境を創造するためには単に省エネルギーだけでなく、昼光を考慮した視環境評価に基づく昼光・人工光の制御手法の確立が切に望まれる。

第3章では、窓際の視環境を適切に評価するためには、視対象となる相手とそれを見る人の位置関係を考慮することが必要であると考え、観察者の視線の方向が窓と平行な方向以外を含めて、また、相手の顔の向きも変化させて評価実験を行い、窓際での人の顔のモデリング評価指標の検討を行った。その際、第3章、第4章で行った評価実験は、教室や事務室における窓際の光環境を測定点の立体的照度分布に着目して実測調査し、その測定結果に似た窓際の光環境を実験室内に作り出した模擬環境によるものであった。模擬環境と実際の昼光照明状態では、窓面輝度、窓向き鉛直面照度等の入射光量に関する照明条件が異なることも考えられ、それはモデリング評価に影響するであろう。本章では、執務に使用している室内の実際の窓を使って、窓際のモデリング評価実験を行い、実際の昼光照明下での諸測光量の特徴を調べ、窓際での人の顔のモデリング評価指標の検討を行うとともに模擬環境での実験結果との整合性を検討する。

5.2 実際の窓を使った窓際での人の顔のモデリングの評価実験

第3章、第4章では、側窓採光室を想定して、種々の輝度に調光できる人工窓と実際の窓際での入射光分布に似た種々の分布を作り出す装置によって、窓際の光環境を模擬的に作成した。本章でも、観察者の視線方向（窓と平行方向、窓と垂直方向、その中間の方向）と相手の顔の向き（窓と平行な向き、窓を背にした向き、その中間の向き）の組み合わせは第4章と同じ条件としたが、評価実験と同時に昼光のもとでモデルの位置での光環境を計測した。

5.2.1 実験室

実験は市街地を見下ろす市内高台にある建物の4階の一室で、図5-1に示すような南面一面に窓を有する水平視線より上部は天空である片側採光の室の南側半分を用いて行った。この室の床の実験スペースに反射率約30%の灰色のカーペットを敷き、両側壁及び窓下の腰壁には反射率約30%の灰色の布を下げた。使用した布の反射率が、第2章で実測した教室、事務室の壁面の反射率より低いのは、室間口が狭く、室全体の平均反射率を考慮したためである。窓面は縦1,310 mm×横815 mmの透明板ガラスのサッシ4枚から成り、第4章での人工窓の窓幅に比べ横にほぼ2倍の大きさとなった。

5.2.2 モデル

前章までの実験ではモデルに実際の人間を用いた。今回の実験期間は長期に渡ることが予想され、窓際に立つ人（以下モデルと呼ぶ）の顔や髪型の再現性と実験の迅速性を重視し、モデルにはマネキン人形（上半身のみ）を用いた。マネキンの顔で人の顔と同等のモデリング評価が行えるかどうかをチェックするために、第4章の実験装置のモデルの位置にマネキンを立て、同一実験条件(108条件)でモデリング評価実験を本実験に

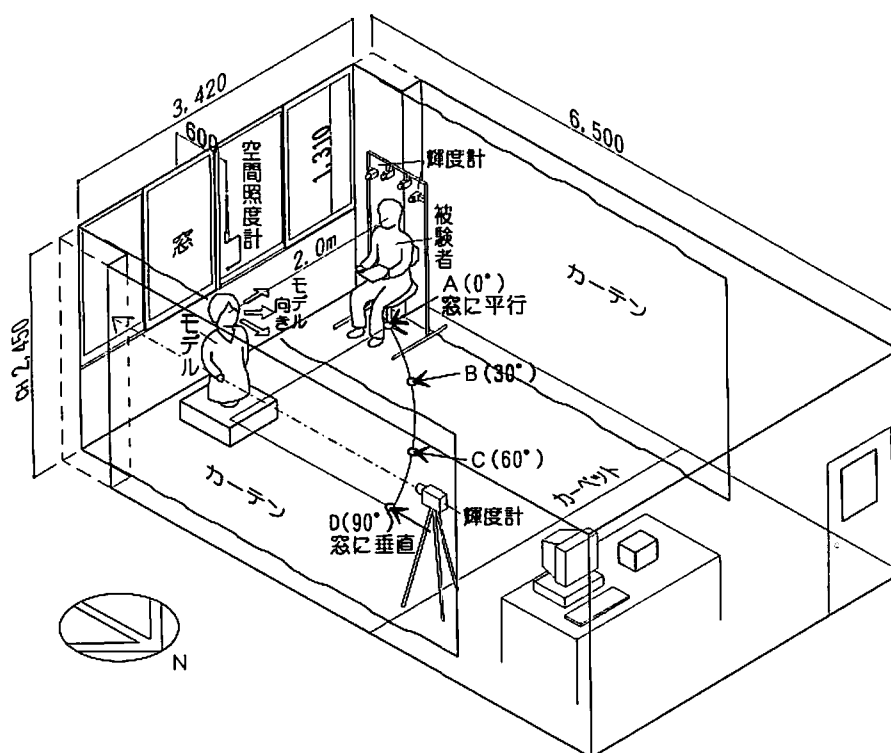


図 5-1 実験見取図

先立ち行った。被験者は今回の実験に参加する4名の被験者である。第4章での評価値と今回の予備実験で求めた評価値(実験条件毎のカテゴリ・スコア平均値)との相関を求めると、相関係数0.940、回帰直線の傾き1.06、y切片0.10となり、分散分析の計算結果も有意な差は認められなかった。両者の相関は非常に高く、同一条件での評価値の差違に特別な傾向も見られないことから、モデルとして人の代わりにマネキンを使用して差し支えないものと考えられる。このモデルを自動回転台の上に設置し、窓から0.6mの位置に置き、リモコンで制御してモデルの向きを変えた。また、服の色は濃紺とし、顔面への照り返しの影響を少なくした。

5.2.3 測光量の測定

前章までの実験では実験条件のうち、窓からと室内からモデルに当たるの光の状態は自由に調節できるため、実験条件を設定するための種々の測光量の測定は評価実験前に容易に行うことができた。しかし、実際の窓による今回の実験では、事前に測光量を測定することができないため、評価実験中に随時測る必要がある。そこで、第2章で使用した2軸回転式照度測定装置を天井から支持し、受光部をモデル頭上の約10cmの位置に置き、その位置の方位別鉛直面照度測定データから、照度に関する測光量を算出した。また、被験者が着席する位置にアングルで枠を組み、被験者の頭部周囲に4台の輝度計を固定し、モデルの額の位置の輝度1ヶ所を測定し、モデルの顔周辺の3ヶ所で背景輝度を測定した。モデルの回転中心は額部分になるよう設定してあるので、額部分の輝度の測定値は被験者の位置あるいはモデルの向きが変わってもほぼ同じ箇所を測定することになるが、背景輝度は被験者の位置が変わると測定箇所もその都度変わることになる。これらとは別に、定位置に据えた三脚に固定した輝度計で窓面輝度(窓越しの空の部分)を測定した。これら全ての測光量の測定はパソコンにより一括して制御し、測定データは測定日時と共にフロッピーディスクに保存した。それらの測定装置の位置関係を図5-1に示す。

5.2.4 被験者および実験方法

自然光を使うので毎回同じ照明条件とならない恐れがあるため、被験者(観察者)は、4人あるいは5人を一組とする。被験者は被験者位置の椅子に腰掛け、2.0m離れたモデルの顔を見て、表5-1のカテゴリ(前章までと同一)に従って、モデルの顔のモデリン

グ状態を評価する。続いてモデルの向きを変えて同様の評価を行う。これらを1人ずつ一組全員について行い、被験者の位置を変えてこれを繰り返す。表 5-1 に示すようにモデルの向き 3 条件、被験者の位置 4 条件、その組み合わせ 12 条件について実験を行った。これを 1 回の実験とする。この一組は 2 つのグループ(一般学生と研究室学生)の 2 つに別れ、一般学生は 15 組(総数 63 名)で各組 1 回ずつの実験を、研究室学生は前述のマネキン人形で人の顔と同等のモデリング評価ができるかどうかのチェック実験に参加した被験者 4 名を含む 5 名の被験者 1 組で 30 回の実験を行った。被験者位置とモデルの向きの呈示順序はラテン方格配列とし、順序効果を相殺した。1 回の実験に要した時間は約 30 分であった。この被験者が報告した数字をカテゴリ・スコアとして評価値とする。上述の測光量の測定は、各被験者の位置での実験の際に、一人目の被験者の評価前と最後の被験者の評価後に行った。その際、実験者は天候と空の様子を記録した。評価中に天候が急変した時は実験を中止し、実験順序を変え、新たに実験を開始した。

実験期間は 6 月中旬から 8 月末で、実験時間帯は、晴天の場合は午前 10 時から午後 3 時までとした。曇天・雨天の場合には、それに前後 1 時間を含めて実験を行った。8 月初旬以降の晴れの日には室内に直射日光が入射したが、モデルの顔や体に当たることはなかった。表 5-2 に、これらの実験条件を示す。

表 5-1 カテゴリ番号とその意味内容

-
- | | |
|----|---|
| 1. | 顔に立体感がなく平板的に見える。
(顔面の影が薄過ぎて、陰影は非常に乏しい) |
| 2. | 顔の立体感はかなり物足りない。
(顔面の影がかなり薄く、陰影もかなり乏しい) |
| 3. | 顔の立体感はやや物足りない。
(顔面の影がやや薄く、顔面に陰影がやや乏しい) |
| 4. | 顔の立体感は適当で好ましい。
(顔面の影の濃さは適当で、目鼻立ちもはっきりわかる) |
| 5. | 全体としてややどぎつい感じである。
(顔面の影がやや濃い、顔の暗い部分の目鼻立ちはわかる) |
| 6. | 全体としてかなりどぎつい感じである。
(顔面の影がかなり濃い、顔の暗い部分の目鼻立ちは微かにわかる) |
| 7. | 全体として非常にどぎつい感じである。
(顔面の影が濃過ぎて、顔の暗い部分の目鼻立ちがわからない) |
-

表 5-2 実験条件

光環境条件	窓の大きさ	1310×815×4枚
	窓面の輝度	約 400～10,000 [cd/m ²] (天空状態により変化)
	室内向き鉛直面照度	約 20～1000 [lx] (窓からの入射光量にほぼ追随)
観察条件	被験者の位置 (窓面との角度)	A(0°)[窓と平行な向き]、 B(30°)、 C(60°)、 D(90°)[窓と垂直な向き]
	モデルの向き (窓面との角度)	0° [窓と平行な向き]、 45°、 90° [窓を背]
	被 験 者	1組4、5名 一般学生：15組×1回 研究室学生：1組×30回
	モ デ ル	マネキン人形(女性タイプ、ショートヘアー)

5.3 結果と考察

5.3.1 測光量と天候

図 5-2 は実験中に 2 軸回転式照度測定装置で測定した方位別鉛直面照度の中から、窓向き鉛直面照度についてその頻度分布を天候別に分けて示したものである。雨の時は照度が低く、曇りの時が照度値の分布が広範囲にわたっている。全天候データの平均値は 9,522 lx となり、最高照度で 20,000 lx を越える場合もあった。図 5-3 は同様にして求めた室内向き鉛直面照度の天候別頻度分布である。窓向き鉛直面照度の場合には、晴れの時は、曇りの時に比べ分布範囲が狭くなっているが、室内向き鉛直面照度では、晴れの方が曇りに比べ分布範囲が広がっている。晴れの時は曇りや雨の時と比べ、室内向き照度変化におよぼす影響が大きいことがわかる。図 5-4 には、同じく方位別鉛直面照度測定値から、窓向き半円筒面照度と室内向き半円筒面照度を計算し、その比(半円筒面照度比)の頻度分布を示した。正規分布に近い分布形状を示し、平均値は 6.75 となり、第 2 章で実測した片側採光教室における半円筒面照度比の平均値 6.76 とほぼ同値であった。測定位置は常に同一であるので、半円筒面照度は天候に関わらず同じかそれに近

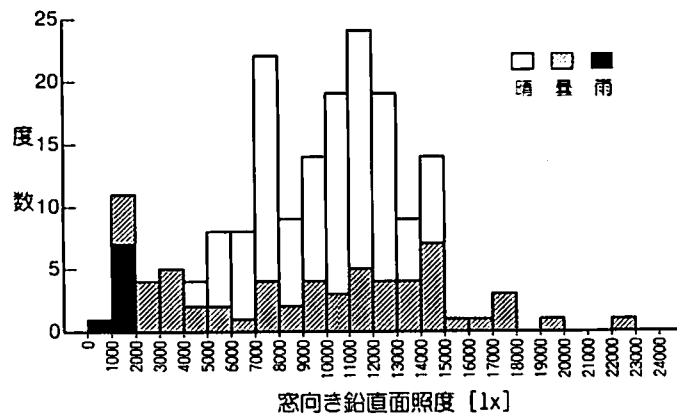


図 5-2 窓向き鉛直面照度頻度分布

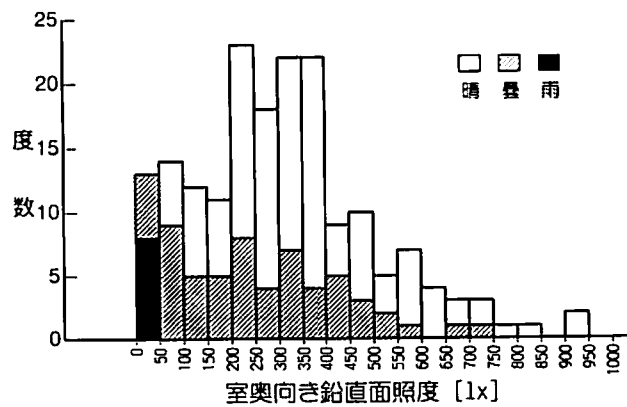


図 5-5 は窓向き鉛直面照度と室内向き鉛直面照度の同一時刻による値を天候別に分けてプロットしたものである。窓向き鉛直面照度が高くなると室内向き鉛直面照度も高くなる様子がわかり、両者の相関係数は 0.894 と高い。但し、晴れの直射日光入射有りの場合は分布の上部にプロットされていて、窓向き鉛直面照度が同じでも室内向き照度は他の天候と比べ高くなっている。これは、直射日光の入射により室内反射光(間接光)の割合が増えたためと思われる。晴れの直射日光入射有りのデータを除いた相関係数は 0.945 と非常に高くなる。図 5-6 は窓向き鉛直面照度と固定位置で測定した窓面輝度(窓

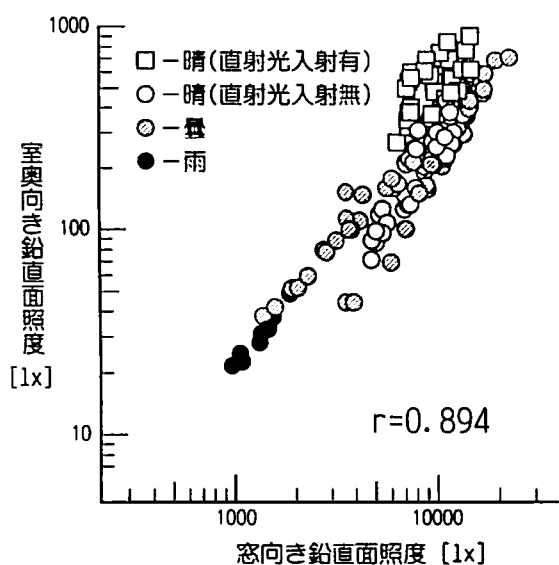


図 5-5 窓向き鉛直面照度と室内向き鉛直面照度

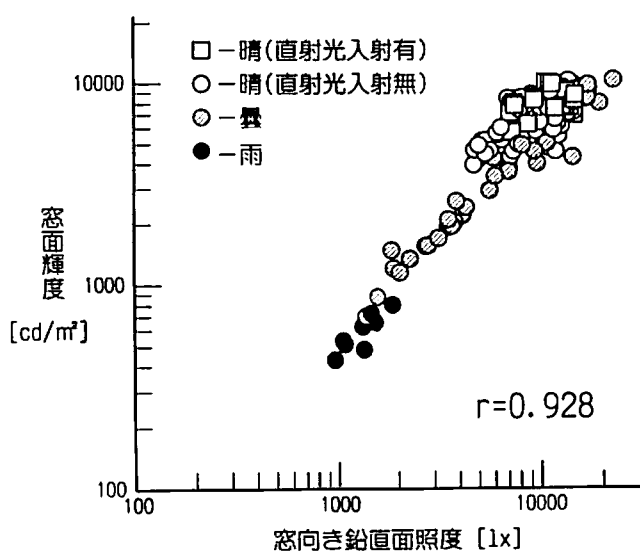


図 5-6 窓向き鉛直面照度と窓面輝度

越しの低高度の天空輝度)との関係を示したものである。輝度計の測定視野角は 1° と天空の非常に狭い部分の測定にも関わらず、晴れの場合には分布の上側にプロットされているものの両者の相関は高い(相関係数0.928)。また、直射日光の影響は見られない。中村ら¹⁾は片側採光のオフィスの昼光環境を測定し、直射日光が室内に入射しない場合、天候や採光窓の向きにかかわらず、昼光照明時の同一位置における水平面照度とベクトル照度、スカラー照度、円筒面照度の各空間照度の変動は終日ほぼ類似するとしており、本章での窓向き鉛直面照度と他の測光量とに高い相関がみられる知見と合致している。

図5-7は、方位別鉛直面照度を窓向きを100とした相対値で求め、その一例を示したものである。その分布形状は、窓向き鉛直面照度の大小に関係なく、実験時刻が午前中では若干左に、午後では若干右に膨らんだ分布となるが、全体的には、実験見取り図(図5-1)のように窓幅はモデルの位置を境に左右で異なるため、右にやや膨らんだ分布をしている。表5-3は室内向き鉛直面照度と窓に平行な向きの鉛直面照度の窓向き鉛直面

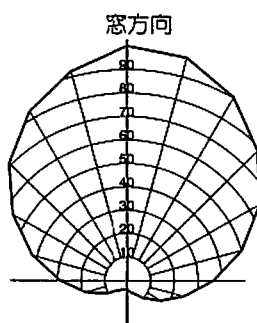


図 5-7 方位別鉛直面照度分布

表 5-3 室内向き鉛直面照度、窓に平行な向きの鉛直面照度の窓向き鉛直面照度に対する割合[%]

	室内向き	窓と平行向 (左右平均)	窓と平行向 (評価実験側、右)
最小値	1.03	24.21	21.45
最大値	7.81	46.61	55.51
平均値	3.15	31.03	36.29
標準偏差	1.38	4.09	7.66

照度に対する割合を求めたものである。第2章での片側採光教室での窓際1mの測定結果と比べて、室奥向きの値は小さく、窓に平行な向きは逆に大きくなっている。これは、今回の測定位置が窓から60cmと近い位置であったことと、間口が実測平均約9.9mであったのに比べ今回は3.65mと狭いため、壁からの反射光の影響によるものと思われる。

5.3.2 光環境条件に関する実験範囲の前報までとの比較

表5-4はモデリング評価実験での光環境条件の実験範囲(最小値～最大値)について、実環境(本章)、模擬環境(第3章、第4章)を比較して示したものである。今回の実験範囲は、前章までの実験の範囲をほぼ包含しているものと云える。模擬環境実験に比べ、高照度、高輝度の条件が多く含まれている。ただし、1居室の固定された位置での実験(測定)であるので、図5-5、4-6に示したように窓からの入射光量の変化と全ての測光量の変化に高い相関がみられることが特徴的である。

表 5-4 光環境条件に関する実験範囲の比較

	窓向き鉛直面 照度[lx]	室奥向鉛直面 照度[lx]	窓面輝度 [cd/m ²]	半円筒面照度比
第3章(模擬環境)	2100～8900	80～680	2000～6000	2.0～22
第4章(模擬環境)	3600～9000	150～600	2000～6000	3.5～9
本章(実環境)	1000～22000	25～980	400～10200	3.5～10

5.3.3 評価値

被験者のカテゴリ判断の結果から、1回の実験の被験者位置、モデルの向きの組み合わせ12条件毎に被験者(4あるいは5名)のカテゴリ・スコアを平均して実験条件毎のモデリング評価値(以下、評価値と呼ぶ)を求めた。一般学生と研究室学生による評価値の違いは、被験者の位置とモデルの向き以外の実験条件(モデルへの入射光量)が実験毎に異なるため両者の同一条件での比較はできないが、特別な差は認められなかった。評価値の標準偏差の平均値を求めると、一般学生は0.780、研究室学生は0.574となり、やはり、研究室学生は訓練を重ねているため偏差は小さかった。

図5-8は評価値と、実験時のモデルの顔の位置での室内向き鉛直面照度(実際は、モデルの頭部上方約10cmでの測定値)との関係を被験者の位置毎に分けて示したものである。

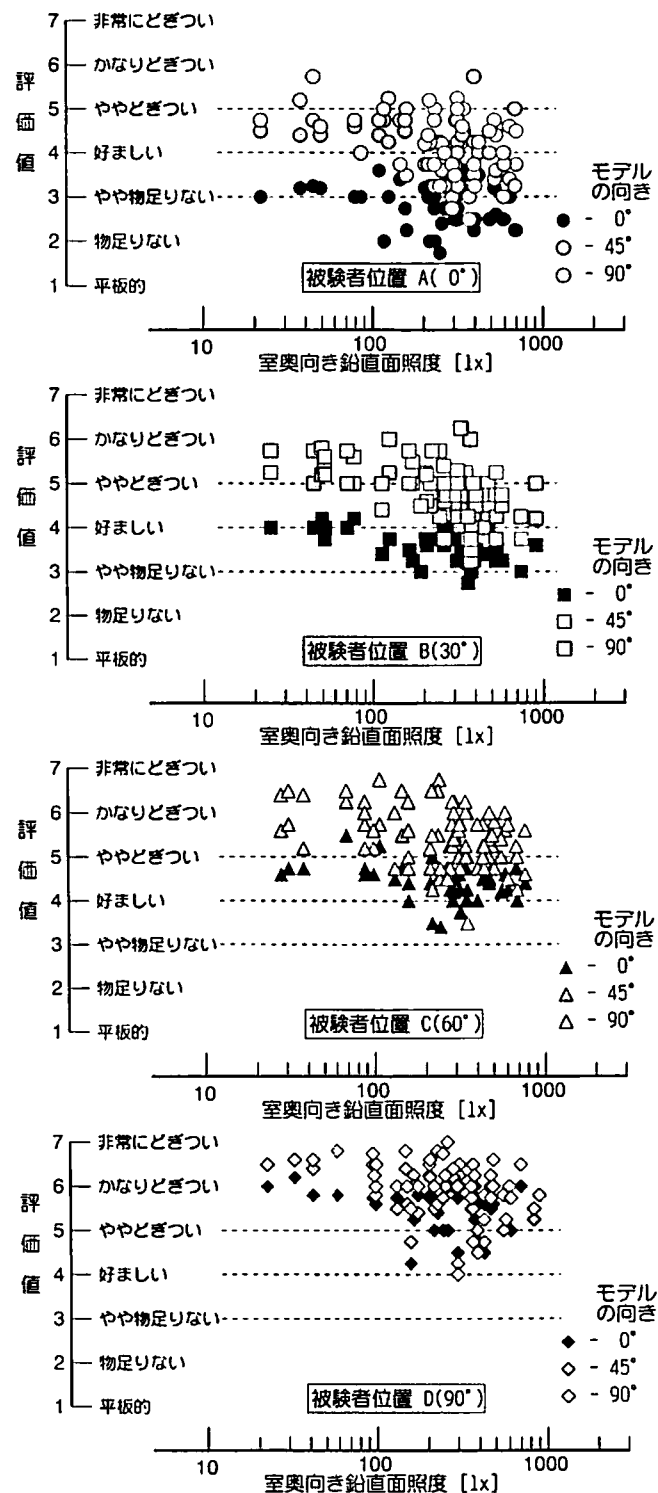


図 5-8 室内向き鉛直面照度とモデリング評価値

第4章と同様に室内側からモデルを照らす照度が高くなるにつれて、評価値は低くなっている。しかし、その様子は第4章ほど顕著ではない。また、被験者のモデルを見る位置が窓と平行向きの位置（被験者位置 A(0°)）から窓に垂直向きの位置（被験者位置 D(90°)）へと角度が大きくなると、評価値が高くなり、この傾向も第4章と同じである。同じ被験者位置であっても、モデルの向きにより評価値に違いが見られ、被験者位置が窓に平行に近い位置（被験者位置 A(0°)、B(30°)）では、その違いがよりはっきりしている。実験中に室内に直射日光が入射する場合があったが、モデルに直接当たることはなく、評価値に特別な傾向は見られないことから、その影響は少なかったものと考えている。

モデルの位置での入射照度の範囲は前章までと比べ広範囲であるにもかかわらず、観察条件が同じ場合での評価値に顕著な変化が見られなかったのは、モデルに当たる光量は変化しても窓からの光と室内から光の割合がさほど変化しないことに原因があるのではないかと考えられる。このようにモデルに当たる窓からの光と室内から光の割合が変化しない場合では、窓際でのモデリング評価に対してモデルへの入射光量そのものの影響は大きくないものと考えられる。

5.3.4 窓際のモデリング評価指標の検討

第4章では、窓際でのモデリングの評価指標の検討を、従来からモデリングの評価に使われてきた簡単な物理変数の予測精度について検討した。次に、窓からの入射光量あるいは全入射光量に関する変数、室内向き方向からの入射光量に関する変数、被験者視線方向からの入射光量に関する変数の3変数を用いた重回帰モデルの妥当性についても検討した。本章では、窓際でのモデリングの評価指標の検討を、前章において評価指標に適していると推察された物理変数を中心に行うとともに、重回帰式に用いる説明変数の検討も行う。

(1) 半円筒面照度比による検討

第4章では第3章での結果と合わせ、窓を横にして窓と平行な方向を向く人の顔をその正面から見たモデリング評価には、モデルの位置での半円筒面照度比（窓向き鉛直面照度／室内向き鉛直面照度）が有効であることを示した。今回の全実験条件の中から被験者位置 A(0°)、モデルの向き(0°)の何れも窓と平行で互いに向かい合う条件だけを選

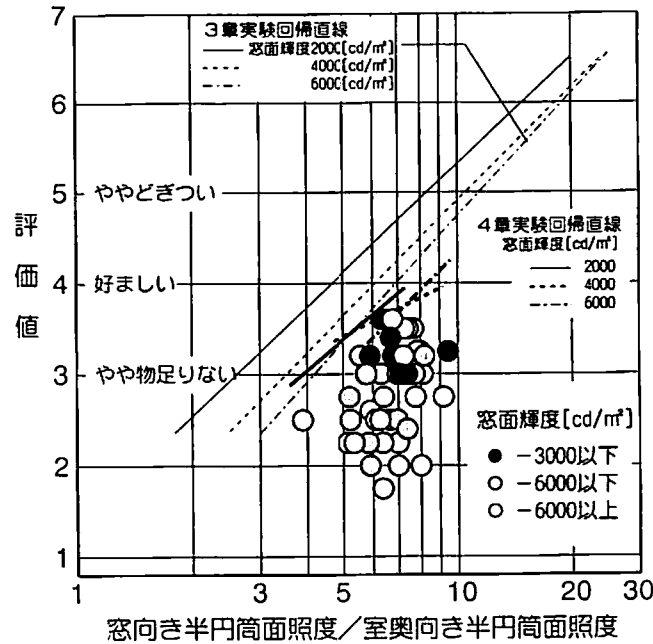


図 5-9 半円筒面照度比とモデリング評価値（窓と平行向き）

び出し、それらの半円筒面照度比と評価値との関係を第4章の結果（図4-4）と重ねて示したものが図5-9である。

評価値は「好ましい」以下の「やや物足りない」付近に分布している。窓際で窓と平行な方向を向いた人の顔のモデリングは悪くなる（「どぎつくなる」）といわれているが、今回の様な窓際環境で必ずしもそうではないことがわかった。南ら²⁾の実際の窓を使った評価実験でも同様の結果が示されている。本章の実験結果は前章までの回帰直線群に比べ、下方の位置にプロットされている。窓面輝度毎に若干の傾向（輝度が高い程評価値は低い）は見られるが、前章での結果と比べ相関は低くなっている。同図の回帰直線群に実験年度による違いがやや見られる。第3章において、評価値と半円筒面照度比の関係には、窓幅の影響は小さく、主として窓面輝度の影響を受けるとしたが、今回の実験での窓幅は、第4章の2倍以上あり、その違いの影響が表れたのではないかと考えられる。モデルの位置での方位別鉛直面照度分布はモデルの顔に生じる明暗の程度に大きく関わると思われるから、窓幅の違いというより、方位別鉛直面照度分布の形状の如何がモデリング評価に影響を及ぼしているのではないかと考えられる。

(2) 顔面輝度による検討

第4章では、モデリングの評価値と輝度比(顔面輝度/背景輝度)に相関が見られることを示した。実験中に測定したモデルの顔面輝度(額部分)と背景輝度(モデルの顔の周囲3ヶ所の平均値)から輝度比を求め、評価値との関係を示したものが図5-10である。相関係数の絶対値は0.732と、第4章の値0.719とほとんど変わらず、僅かに高い値となった。図中の各点の分布に被験者位置による特徴は見られず、分布に直線性が見られるものの、図から評価値4に対する輝度比(顔面輝度/背景輝度)を読み取ると0.03~4までの広範囲な値になり、窓際のモデリングが好ましい状態を輝度比(顔面輝度/背景輝度)で特定することは難しいと考えられる。また、測定した背景輝度範囲は背景のごく一部の箇所であり、今回の測定値を背景輝度と見なして良いかどうか疑問が残る。野口ら³⁾、岩田ら⁴⁾のビデオカメラを使用した輝度分布測定装置を用いれば、顔面輝度、背景輝度を短時間に測定可能だと考えられるが、測定ダイナミックレンジ、視感度補正などの未解決の問題が残されている。

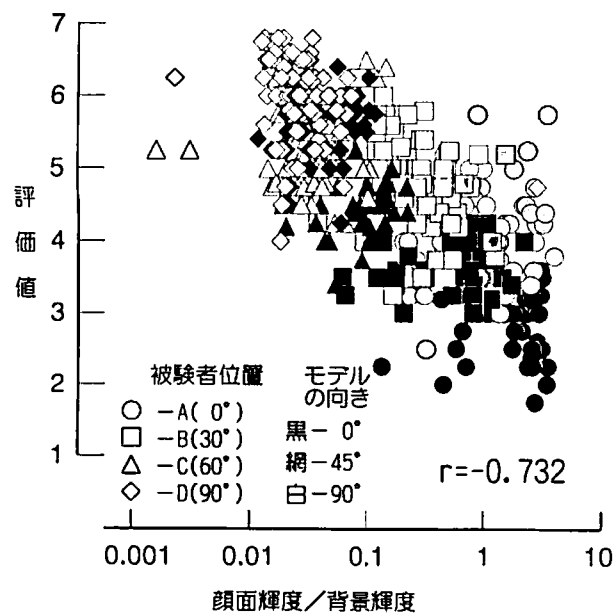


図5-10 顔面輝度/背景輝度との評価値

(3) 被験者の位置(窓との角度)およびモデルの向きによる検討

図 5-8 の室内向き鉛直面照度とモデリング評価値との関係において、光環境条件の実験範囲は前章までより広いにも拘わらず、同じ観察条件では、前章までと比べ評価値の変化の程度が小さくなっている。また、被験者の位置やモデルの向き毎に評価値が偏った分布をしている様子がわかる。図 5-11 は被験者の位置、モデルの向きと評価値の関係をまとめて示したものである。それぞれに評価値は分散しているものの、被験者位置が窓と平行な向き (A(0°)) から窓に垂直な向き (D(90°)) に移るにつれて、評価値は高くなり、モデルの向きが 0° → 45° → 90° の順に評価値が高くなっている。また、モデルの向きによる評価値の違いは、被験者の位置が窓と平行な向き (A(0°)) に近いほど大きくなっている。このような系統立った変化は第 4 章では見られなかった。前章までの実験では、モデルの位置での窓からの入射光量と室内向きからの入射光量は独立に変化させることができたが、今回の実験では、それらは従属的に変化するため、モデリング評価にモデルへの入射光量の影響より被験者の位置およびモデルの向きの影響が顕著に表れたものと推察される。

人の顔は曲面であるため、顔に生じる明暗部分および陰影は照明状況が同じでも見る方向によって異なった様子に見える。人の顔の表面を均等拡散面と仮定すれば、モデル

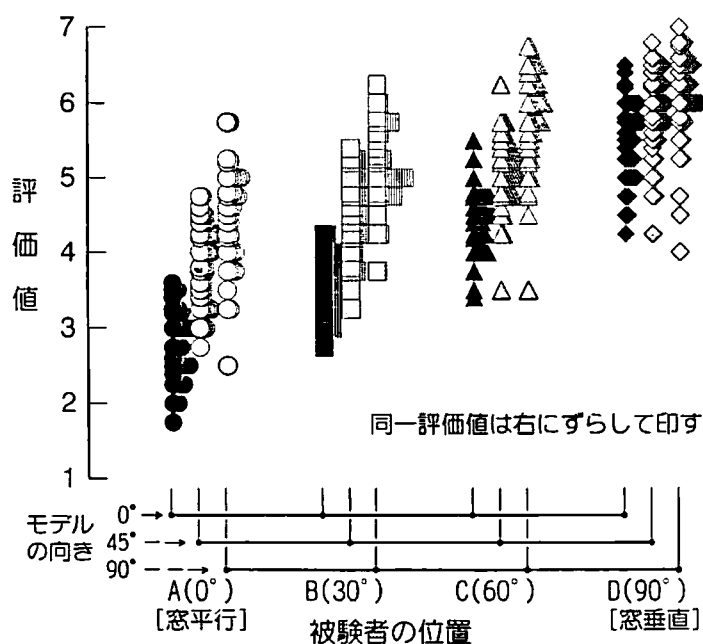


図 5-11 被験者のモデルを見る位置と評価値

の顔に生じる明暗・陰影（輝度分布）は、その面への照度の差異によると考えられる。モデルの位置での方位別鉛直面照度分布は、模擬実験では照明条件毎に異なった分布を形成するが、本章の実験での同分布は昼光照度が変化してもさほど変化していない。その方位別鉛直面照度分布の形状の違いは入射光量の絶対量の違いよりもモデリング評価に大きな影響を与えているのではないかと考えられる。

図 5-12 は評価値とモデルの顔の位置での被験者向きの半円筒面照度(以下、被験者向き半円筒面照度と呼ぶ)の関係を示したものである。相関係数の絶対値は 0.554 と低く、第 4 章での値(0.532)とほぼ同じであった。前章での同様の図では窓面輝度毎に分かれて分布していたが、図のようにモデルの向き毎に分かれて分布しているように見える。

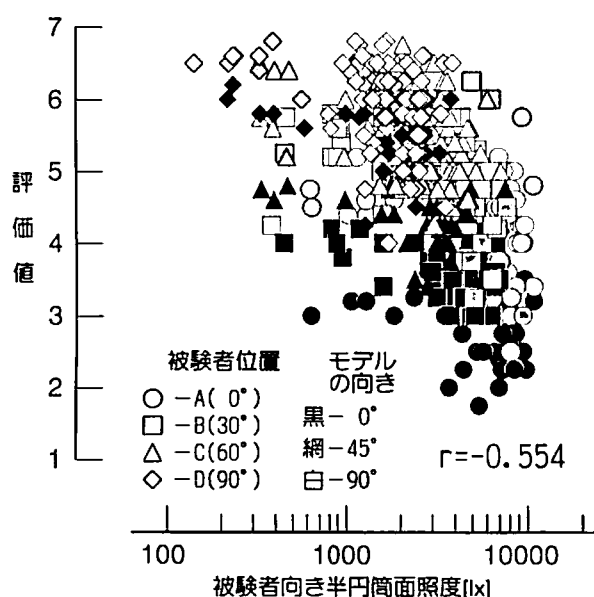


図 5-12 被験者向き半円筒面照度とモデリング評価値

(4) 窓際のモデリングの重回帰分析による検討

第 4 章では、窓際でのモデリングの評価を種々の測光量を変数とした単独あるいは複数の変数の積や商の形では旨く説明できないため、重回帰分析による検討を行った。評価値を目的変数とし、説明変数に、窓からの入射光量あるいは全入射光量に関する変数、室内向き方向からの入射光量に関する変数、被験者視線方向からの入射光量に関する変数の 3 つの変数による重回帰モデルが窓際でのモデリング評価指標として有効であることを示した。

本章の実験においても上述までの結果から、窓際でのモデリングの評価を単独のあるいは複数の積や商を用いた測光量で説明することはできなかったが、上記の3つの変数が窓際のモデリングの評価に重要な役割を果たしていると考えられる。そこで、本章でも重回帰分析による検討を行うことにした。

表5-5は、分析に用いた説明変数間の相関係数を示したものである。各説明変数と目的変数(評価値との相関係数も併せて示す。重回帰分析を行う際には、説明変数間の独立性(相関が低い)が必要であるとされている⁵⁾。窓からの入射光量あるいは全入射光量に関する変数Aと室内向き方向からの入射光量に関する変数Bとには高い相関が見られる。これは、これらの測光量が窓からの入射光量に従属的に変化するためである。そのため、この両者の変数を共に重回帰分析の説明変数に用いることは適切ではない。被験者視線方向からの入射光量に関する変数Cの顔面輝度[Lf]および背景輝度[Lb]はそれぞれ対象物のごく一部の測定(上述(2))によるものであるため回帰式に使用するのを控えた。

これらのことを考慮して重回帰分析を行い、説明変数の検討を行ったところ、変数A

表 5-5 相関行列表 []内は略号 (対数による計算)

	[Eo]	[Eho]	[Es]	[Lo]	[Ei]	[Ehi]	[Ehs]	[Lf]	[Lb]
A)窓向き鉛直面照度[Eo]		0.999	0.997	0.928	0.894	0.959	0.727	0.559	0.417
A)窓向き半円筒面照度[Eho]	0.999		0.999	0.934	0.915	0.968	0.731	0.564	0.424
A)円筒面照度[Es]	0.997	0.999		0.938	0.926	0.977	0.735	0.568	0.428
A)窓面輝度[Lo]	0.928	0.934	0.938		0.878	0.933	0.693	0.562	0.429
B)室内向き鉛直面照度[Ei]	0.894	0.915	0.926	0.878		0.966	0.698	0.549	0.421
B)室内向き半円筒面照度[Ehi]	0.959	0.968	0.977	0.933	0.966		0.738	0.575	0.441
C)被験者向き半円筒面照度[Ehs]	0.727	0.731	0.735	0.693	0.698	0.738		0.561	-0.195
C)顔面輝度[Lf]	0.559	0.564	0.568	0.552	0.549	0.575	0.561		0.146
C)背景輝度[Lb]	0.417	0.424	0.428	0.429	0.421	0.441	-0.195	0.146	
評価値(目的変数)	-0.137	-0.140	-0.143	-0.161	-0.174	-0.159	-0.561	-0.449	0.510

- A) 窓からの入射光量あるいは全入射光量に関する変数
 B) 室内向き方向からの入射光量に関する変数
 C) 被験者視線方向からの入射光量に関する変数

(窓からの入射光量あるいは全入射光量に関する変数)として円筒面照度[Es]、変数 C(被験者視線方向からの入射光量に関する変数)として被験者向き半円筒面照度[Ehs]を用いた回帰式が評価値との相関が最も良かった。これらの変数(測光量)は第4章で行った重回帰分析での3変数のうちの2変数と同じものである。評価値とこの回帰式によって求めた評価値の推定値との関係を図5-13に示す。相関係数は0.753と決して高くはなく、特に推定値3以下の対応がよくない。図中の45°の直線(評価値=推定値)とほぼ平行して、モデルの向き(3種)毎にそれぞれ分かれて分布している様子がわかる。被験者向き半円筒面照度はモデルの向きに関わらず一つの値をとるので、図中の被験者位置を示すマークはモデルの向き(3種)に対して縦に分布する訳であるが第4章の図4-9よりその広がりが大きい。

重回帰分析における説明変数を選ぶ際の規定(説明変数間の独立性)をあえて考慮せず重回帰分析を行い、回帰式を求めたところ、変数A(窓からの入射光量あるいは全入射光量に関する変数)として円筒面照度[Es]、変数B(室内向きからの入射光量に関する

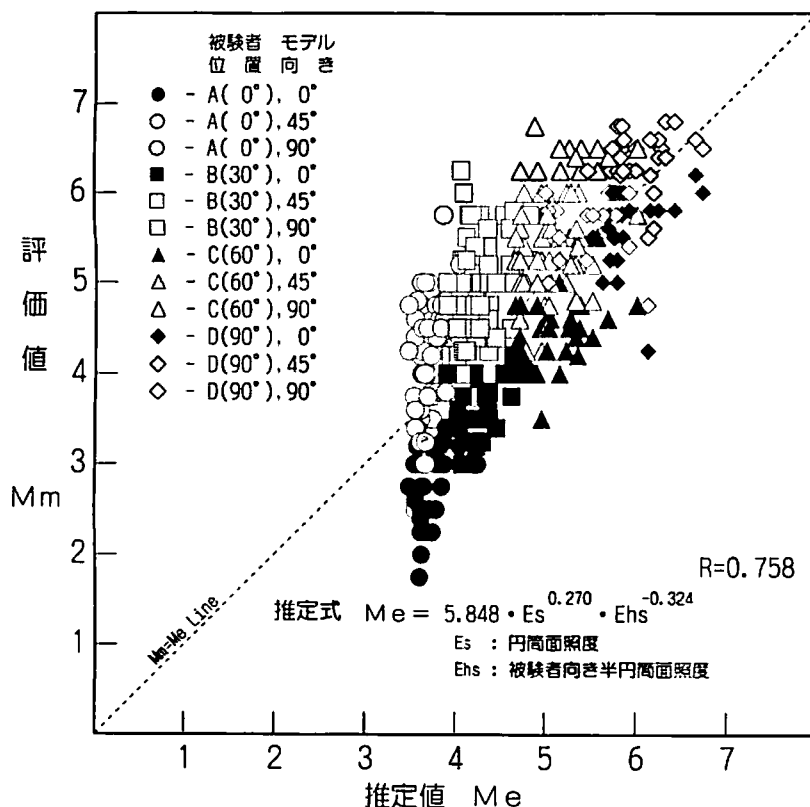


図5-13 重回帰式による推定値と評価値

変数)として室内向き半円筒面[Ehi]、変数 C(被験者視線方向からの入射光量に関する変数)として被験者向き半円筒面照度[Ehs]の3変数を用いた場合が、評価値との相関が最も高くなった。この3変数は第4章と同じ変数であった。評価値とこの回帰式によって求めた推定値との関係を求めると相関係数は0.758となり、図5-13による相関係数0.753より僅かに高くなる程度であり、その分布状況の図5-13との違いはほとんど見られなかった。

これらの結果から、窓際でのモデリング評価にとって、これまでの種々の測光量を変数とした単独あるいは複数の変数の積や商より重回帰モデルが有効であることが第4章と同様に確かめられた。また、重回帰モデルに用いる変数の絞り込みが行えた。しかし、窓際でのモデリングを的確に評価するための指標を特定するには至らなかった。窓際の人の顔のモデリングの評価には、モデルに当たる光量、被験者位置(視線方向)、モデルの向きの違いが相互に影響するため、モデリング評価指標ならびに推定式にはそれらを総合的に考慮する必要があると考えられる。

式に用いた被験者向き半円筒面照度はモデルの向きの影響を反映していない。今回の実験では、モデルの向きの影響は無視できないと思われる。前報では、被験者向き半円筒面照度の代わりに実験時に撮影したモデルの写真の濃淡から求めた明暗面積比を用いた推定式を示した。その評価式の相関係数はやや低くなるもののモデルの向きも考慮したものであった。現実の環境で、この明暗面積比を求めるのは容易なことではなく、明暗面積比を簡便に求める方法あるいはそれに代わる指標が必要であると考えられる。

5.4 結論

前章までの模擬環境と異なり実際の居室を使って、窓際に立つ人の顔を窓と平行な方向以外から、あるいは相手の顔を正面以外から見てモデリング評価実験を行い、実験条件の検討、窓際での人の顔のモデリング評価指標の検討を行った。結果を要約すると、(1)昼光による同一測定点での窓向き鉛直面照度、室奥向き照度、窓面輝度に高い相関が見られた。しかし、半円筒面照度比(窓向き半円筒面照度/室奥向半円筒面照度)の頻度分布には幅が見られた。

(2)モデルを見る位置(窓との角度)およびモデルの向きによってモデリング評価に違いが見られた。その程度は窓からの光と室奥からの入射光量に左右されるが、両者は従属的に変化するため、観察条件が同じであれば、モデルへの入射光量の影響はそれほど大きくはなかった。

(3)前章までは、窓と平行に見る状態でのモデリング評価では、その評価指標に窓向きと室奥向きでの半円筒面照度比が有効であることを示したが、今回の実験は前章までと比べ相関は低くなった。窓幅が前章までの2倍以上あり、その違いの影響が表れたのではないかと考えられる。

(4)モデルの位置での方位別鉛直面照度分布の形状の違いは窓からの入射光量の絶対量の違いよりもモデリング評価に大きな影響を与えているのではないかと考えられる。

(5)重回帰モデルがこれまでの種々の測光量を変数とした単独あるいは複数の変数の積や商より、窓際でのモデリング評価に有効であることが第4章と同様に確かめられた。しかし、窓際での人の顔のモデリングを的確に評価するための指標を特定するには至らなかった。

モデルの顔に生じる明暗・陰影(輝度分布)は、その面(曲面)への照度の差異によると考えられる。モデルの位置での方位別鉛直面照度分布の形状の如何は、モデルの顔に生じる明暗の程度に大きく関わると思われるから、モデリング評価に影響を及ぼしているのではないかと考えられる。この方位別鉛直面照度分布についての分析・検討が必要である。

【参考文献】

- 1) 中村洋他：建築空間における昼間の光環境の動的変動に関する研究 その2 オフィス空間の昼光環境について，照明学会誌第81巻 第2号， pp.158～168， 1997
- 2) 南幸伸他：昼光を導入した室内のモデリングに関する被験者実験，日本建築学会大会学術講演梗概集(D)， pp.1143～1144， 1993
- 3) T. Noguchi :Video photometry for measurement of luminance distribution in a room, Proc. Of 2nd Lux Pacifica, pp.13-17, 1993
- 4) 岩田利枝他：CCD カメラの光環境計測への応用技術，照明学会誌第81巻 第3号， pp.246-249， 1997
- 5) 例えば，奥野忠一他：多変量解析法，日科技連出版社， pp.128～131， 1992
- 6) 村上泰浩，田中司，矢野隆，小林朝人：窓際のモデリング評価に関する研究 その4 実際の窓を使つての実験－実験概要と測定結果－，日本建築学会中国・九州支部研究報告，第9号・2， pp.29-32， 1993
- 7) 村上泰浩，田中司，矢野隆，小林朝人：窓際のモデリング評価に関する研究 その5 実際の窓を使つての実験－結果と考察－，日本建築学会中国・九州支部研究報告，第9号・2， pp.33-36， 1993
- 8) 小林辰暢，村上泰浩，矢野隆，小林朝人：窓際のモデリングについて－5，日本建築学会大会学術講演梗概集 D， pp.1139-1140， 1993
- 9) 村上泰浩，小林辰暢，矢野隆，小林朝人：窓際のモデリングについて－6，日本建築学会大会学術講演梗概集 D， pp.1141-1142， 1993
- 10) Yasuhiro Murakami, Takashi Yano, Asato Kobayashi: PREFERABLE APPEARANCE OF HUMAN FACE AT A WINDOW, Proc. of the 3rd International Conference HEALTHY BUILDING'94, Vol.24, pp.773-778, 1994
- 11) 村上泰浩，小林朝人，矢野隆：現実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

第6章 円筒面に知覚される明暗面積比のモデリング評価指標への導入

6.1 研究の目的

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。前章までの結果として、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/室奥向き半円筒面照度)との相関が高い(第3章)。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、室奥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(第4章)。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(第5章)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^{1), 2), 3)}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。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^{1), 2)}およびモデリング指数³⁾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。また、その知覚される明暗の割合を入射光の分布から簡易的に求める方法を探り、窓際での人の顔のモデリング評価指標への応用について検討を行うと共に前章までに得られた知見と併せてモデリング評価指標の総合的な検討を行う。

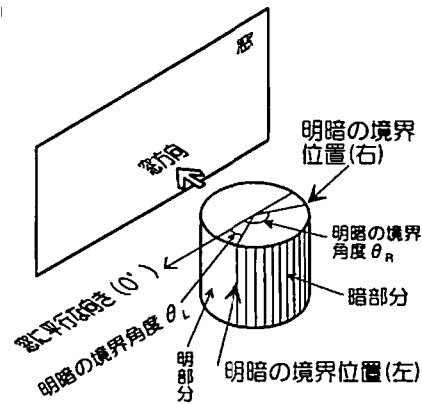


図 6-1 円筒面に生じる明暗

6. 2 円筒面に生じる明暗の境界位置(角度)判断実験

図 6-1 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。

6. 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を(反射率 82%)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 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。

表 6-1 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	1 6 条件	1 2 条件	6 条件	2 4 条件	1 5 条件
視距離 (円筒中心)	2.0m				
被 験 者	1 6 名 (男 1 3、女 3)、年齢 21~24 歳、日常使用の眼鏡等を使用				

光環境条件

観察条件

光源は、表 6-1 に示す投光器タイプⅠ～タイプⅢと第 3 章で使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 6-2 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で光源の正面に向けて測定した値である。

6.2.2 実験方法

被験者は 16 名(表 6-1)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

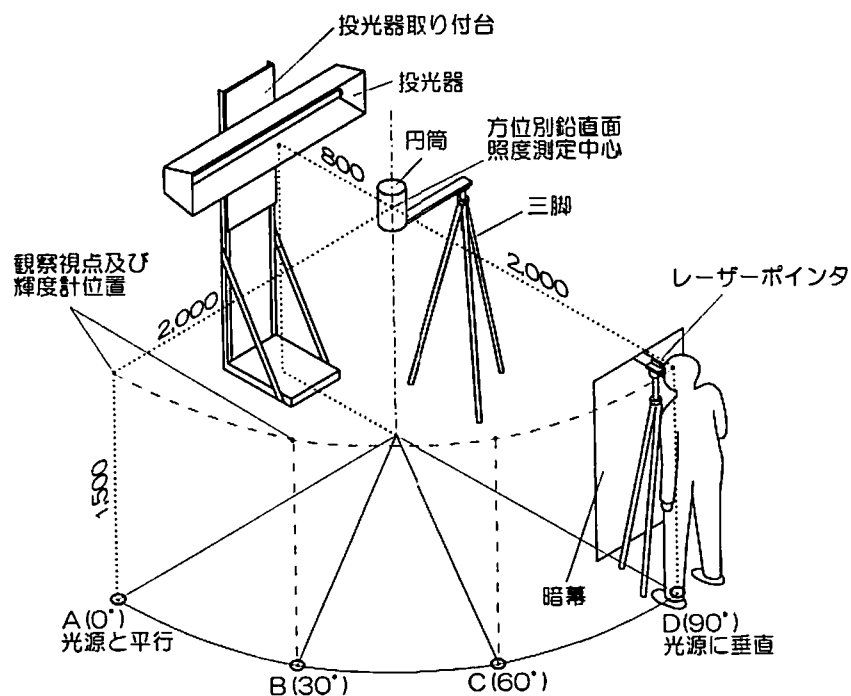


図 6-2 実験見取図

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。

6.2.3 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 $-75^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 、同様に B(30°): $-45^{\circ} \sim 100^{\circ}$ 、C(60°): $-10^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 、D(90°): $10^{\circ} \sim 160^{\circ}$ 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。

6.3 結果と考察

6.3.1 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 6-2 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。

表 6-2 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 I	大	500 lx	A(0°)	15°	1.96	実験 IV	大	2000 cd/m ²	A(0°)	40°	3.44
			B(30°)	15°	2.17				B(30°)	41°	4.45
			C(60°)	11°	1.89				C(60°)	37°	6.06
			D(90°)	17°	2.58				D(90°)	36°	6.18
		1500 lx	A(0°)	17°	2.99			4000 cd/m ²	A(0°)	40°	3.17
			B(30°)	15°	2.94				B(30°)	40°	4.47
			C(60°)	12°	2.78				C(60°)	37°	5.12
			D(90°)	17°	2.93				D(90°)	37°	6.39
	小	500 lx	A(0°)	18°	2.31		小	6000 cd/m ²	A(0°)	41°	2.99
			B(30°)	18°	2.75				B(30°)	40°	2.59
			C(60°)	14°	2.24				C(60°)	38°	3.94
			D(90°)	17°	2.31				D(90°)	36°	5.37
		1500 lx	A(0°)	19°	2.18			2000 cd/m ²	A(0°)	39°	5.61
			B(30°)	19°	1.67				B(30°)	39°	4.38
			C(60°)	15°	2.97				C(60°)	33°	6.04
			D(90°)	18°	3.66				D(90°)	36°	7.99
実験 II	大	500 lx	A(0°)	-2°	1.59	実験 V(視線方向は窓と平行)	小	4000 cd/m ²	A(0°)	38°	6.09
			B(30°)	-1°	2.07				B(30°)	39°	4.49
			C(60°)	-2°	2.65				C(60°)	35°	5.56
		1500 lx	A(0°)	-1°	1.07			6000 cd/m ²	D(90°)	36°	8.06
			B(30°)	-1°	1.15				A(0°)	39°	6.03
			C(60°)	-2°	2.01				B(30°)	39°	4.49
	小	500 lx	A(0°)	-2°	1.35			2000 cd/m ²	C(60°)	35°	5.31
			B(30°)	-2°	2.05				D(90°)	36°	7.28
			C(60°)	-3°	2.49				40cm	41°	5.24
		1500 lx	A(0°)	-1°	1.31			4000 cd/m ²	80cm	20°	7.91
			B(30°)	0°	3.22				120cm	11°	4.76
			C(60°)	-1°	3.13				160cm	9°	3.60
実験 III	大	500 lx	A(0°)	5°	1.43		大	2000 cd/m ²	200cm	7°	3.20
			B(30°)	5°	1.45				40cm	42°	5.66
			C(60°)	2°	2.55				80cm	24°	6.42
		1500 lx	A(0°)	7°	1.37			4000 cd/m ²	120cm	12°	4.31
			B(30°)	6°	1.53				160cm	10°	4.50
			C(60°)	4°	2.67				200cm	7°	3.50
		500 lx	A(0°)	5°	1.43			6000 cd/m ²	40cm	43°	4.83
			B(30°)	5°	1.45				80cm	22°	6.79
			C(60°)	2°	2.55				120cm	12°	3.72
			A(0°)	7°	1.37				160cm	10°	3.34
		1500 lx	B(30°)	6°	1.53				200cm	7°	2.94
			C(60°)	4°	2.67						

- ・ 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
- ・ 表中の角度は 0° : 光源と平行向き
-90° : 光源向き とする

6.3.2 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 6-2 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。

6.3.3 光源の明るさによる明暗境界判断角度の違い

表 6-2 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。

6.3.4 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 6-3 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 6-2 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

表 6-3 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°)				全ての位置	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	*	—		小	4000cd/m ²	—	—
		1500lx	—	—			6000cd/m ²	—	—
	小	500lx	—	—	— : 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				
		1500lx	—	—					
実験 Ⅲ	大	500lx	**	—					
		1500lx	**	—					

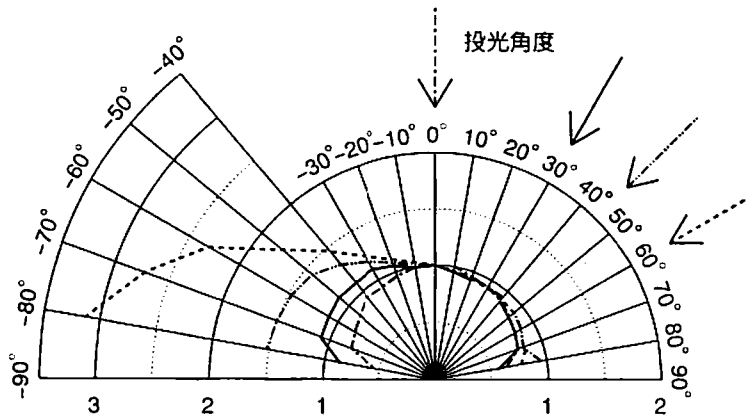


図 6-3 円筒に使用したケント紙の反射特性

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 1 m 離れた半円上で 10° 間隔で入射光側および反射光側の輝度を測定した。その結果を図 6-3 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 6-3 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 6-3 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。

6.3.5 明暗境界判断角度の測光量による推定

(1) 陰線位置(角度)と明暗境界判断角度

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 6-4 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。

表 6-4 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°

網掛け部は図 6-4, 6-5 に使用した実験条件

(2) 円筒表面の輝度分布

図 6-4 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)⁴⁾ というものがある。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⁵⁾。今回の実験では明確なマッハ・バン

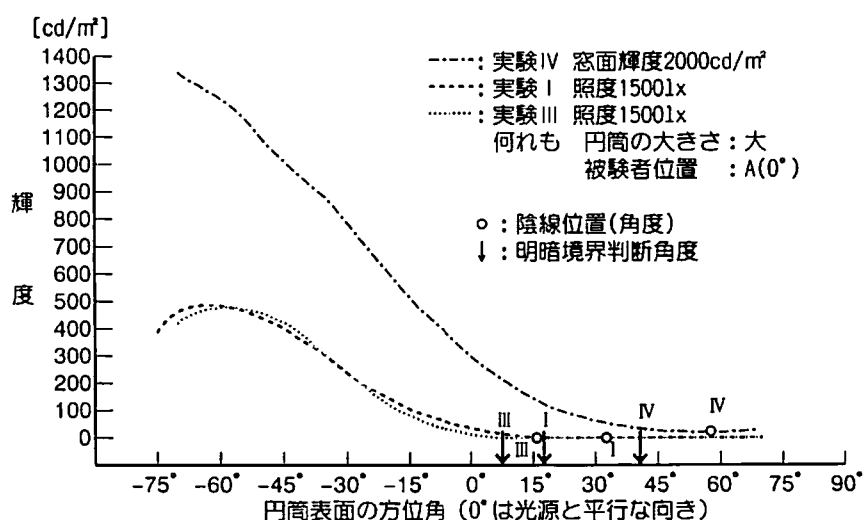


図 6-4 円筒表面の輝度分布

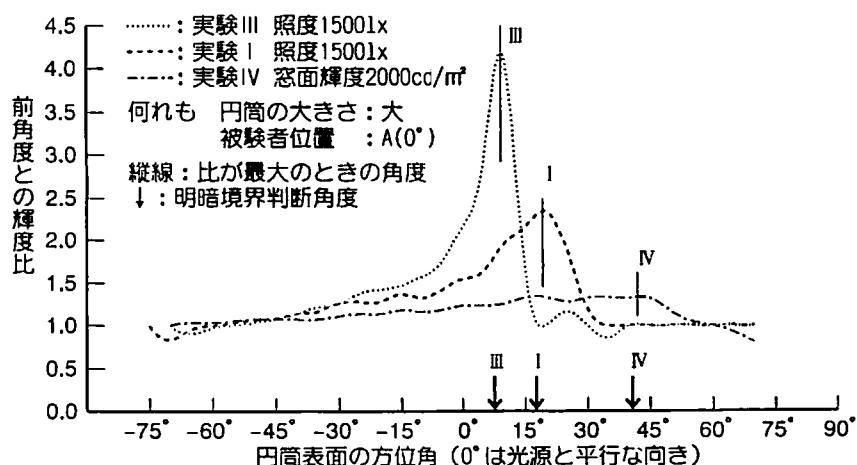


図 6-5 前角度との輝度比の分布

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 6-4 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 6-5 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⁶⁾を行っている）を図 6-3 と同じ実験条件について示したものである。図 6-4 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↓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 6-5 の (ロ) 欄に示した。() 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。

(3) 方位別照度分布

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変化を示すことになる。そこで、図 6-5 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 6-5 の (二) 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

表 6-5 (1) 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 筒と窓と の距離	(イ)	(ロ)	(ハ)	(ニ)	(ホ)	(ヘ)	(ト)
				明暗境 界判断 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
実験 I	大	500lx	A(0°)	15°	20° (5)	23°	(3)	(1)	(3)	(4)
			B(30°)	15°	20° (5)	21° (6)	(3)	(1)	(3)	(4)
			C(60°)	11°	11° (0)	19° (8)	(7)	(-4)	(7)	(8)
			D(90°)	17°	25° (8)	33° (16)	(1)	(-1)	(1)	(2)
		1500lx	A(0°)	17°	20° (3)	18° (1)	(0)	(-1)	(2)	(2)
			B(30°)	15°	20° (5)	17° (2)	(2)	(1)	(4)	(4)
			C(60°)	12°	16° (4)	18° (6)	(5)	(4)	(7)	(7)
			D(90°)	17°	14° (-3)	23° (6)	(0)	(-1)	(2)	(2)
	小	500lx	A(0°)	18°	25° (7)	28° (10)	(3)	(1)	(0)	(0)
			B(30°)	18°	20° (2)	20° (2)	(3)	(1)	(0)	(0)
			C(60°)	14°	24° (10)	12° (-2)	(7)	(5)	(4)	(4)
			D(90°)	17°			(4)	(2)	(1)	(1)
		1500lx	A(0°)	19°	21° (2)	20° (1)	(0)	(2)	(0)	(0)
			B(30°)	19°	20° (1)	20° (1)	(0)	(2)	(0)	(0)
			C(60°)	15°	15° (0)	18° (3)	(4)	(6)	(4)	(4)
			D(90°)	18°	16° (-2)	23° (5)	(1)	(3)	(1)	(1)
実験 II	大	500lx	A(0°)	-2°	0° (2)	5° (7)	(-5)	(2)	(0)	(2)
			B(30°)	-1°	1° (2)	5° (6)	(-6)	(1)	(-1)	(1)
			C(60°)	-2°	4° (6)	5° (7)	(-5)	(2)	(0)	(2)
		1500lx	A(0°)	-1°	0° (1)	5° (6)	(-5)	(1)	(-3)	(1)
			B(30°)	-1°	0° (1)	5° (6)	(-5)	(1)	(-3)	(1)
			C(60°)	-2°	0° (2)	3° (5)	(-4)	(2)	(-2)	(2)
	小	500lx	A(0°)	-2°	4° (6)	5° (7)	(-3)	(2)	(0)	(2)
			B(30°)	-2°	4° (6)	7° (9)	(-3)	(2)	(0)	(2)
			C(60°)	-3°	0° (3)	3° (6)	(-2)	(3)	(1)	(3)
		1500lx	A(0°)	-1°	0° (1)	5° (6)	(-4)	(1)	(-3)	(1)
			B(30°)	0°	0° (0)	5° (5)	(-5)	(0)	(-4)	(0)
			C(60°)	-1°	1° (2)	3° (4)	(-4)	(1)	(-3)	(1)
実験 III	大	500lx	A(0°)	5°	10° (5)	18° (13)	(-4)	(-4)	(2)	(9)
			B(30°)	5°	9° (4)	10° (5)	(-4)	(-4)	(2)	(9)
			C(60°)	2°	9° (7)	8° (6)	(-1)	(-1)	(5)	(12)
		1500lx	A(0°)	7°	9° (2)	8° (1)	(-5)	(-7)	(-1)	(1)
			B(30°)	6°	9° (3)	14° (8)	(-4)	(-6)	(0)	(0)
			C(60°)	4°	9° (5)	7° (3)	(-2)	(-4)	(2)	(2)

網掛け部は図 6-4, 6-5 に使用した実験条件

表 6-5 (2) 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 筒と窓と の距離	(イ)	(ロ)	(ハ)	(ニ)	(ホ)	(ヘ)	(ト)
				明暗境 界判断 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
実験 IV	大	2000 cd/m ²	A(0°)	40°	42° (2)	42° (2)	(0)	(2)	(3)	(3)
			B(30°)	41°	37° (-4)	36° (-5)	40° (-1)	42° (1)	43° (2)	43° (2)
			C(60°)	37°	45° (8)	33° (-4)	(3)	(5)	(6)	(6)
			D(90°)	36°	40° (4)	37° (1)	(4)	(6)	(7)	(7)
		4000 cd/m ²	A(0°)	40°	40° (0)	43° (3)	(-1)	(0)	(1)	(3)
			B(30°)	40°	44° (4)	40° (0)	39° (-1)	40° (0)	41° (1)	43° (3)
			C(60°)	37°	37° (0)	35° (-2)	(2)	(3)	(4)	(6)
			D(90°)	37°	41° (4)	42° (5)	(2)	(3)	(4)	(6)
		6000 cd/m ²	A(0°)	41°	38° (-3)	43° (2)	(-4)	(-1)	(1)	(2)
			B(30°)	40°	40° (0)	37° (-3)	37° (-3)	40° (0)	42° (2)	43° (3)
			C(60°)	38°	40° (2)	35° (-3)	(-1)	(2)	(4)	(5)
			D(90°)	36°	41° (5)	43° (7)	(1)	(4)	(6)	(7)
	小	2000 cd/m ²	A(0°)	39°	26° (-13)	43° (4)	(1)	(3)	(4)	(4)
			B(30°)	39°	30° (-9)	35° (-4)	40° (1)	42° (3)	43° (4)	43° (4)
			C(60°)	33°	25° (-8)	38° (5)	(7)	(9)	(10)	(10)
			D(90°)	36°	25° (-11)	37° (-1)	(4)	(6)	(7)	(7)
		4000 cd/m ²	A(0°)	38°	30° (-8)	43° (5)	(0)	(4)	(3)	(5)
			B(30°)	39°	31° (-8)	37° (-2)	38° (-1)	42° (3)	41° (2)	43° (4)
			C(60°)	35°	31° (-4)	37° (2)	(3)	(7)	(6)	(8)
			D(90°)	36°	35° (-1)	38° (2)	(2)	(6)	(5)	(7)
		6000 cd/m ²	A(0°)	39°	33° (-6)	41° (2)	(0)	(3)	(3)	(3)
			B(30°)	39°	36° (-3)	40° (1)	39° (0)	42° (3)	42° (3)	43° (2)
			C(60°)	35°	38° (-3)	37° (2)	(4)	(7)	(7)	(6)
			D(90°)	36°	35° (-1)	39° (3)	(3)	(6)	(6)	(7)
実験 V (視線は窓平行)	大	2000 cd/m ²	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)	14° (3)
			160cm	9°	10° (1)	8° (-1)	4° (-5)	6° (-3)	5° (-4)	5° (-4)
			200cm	7°	8° (1)	3° (-4)	1° (-6)	0° (-7)	4° (-3)	0° (-7)
		4000 cd/m ²	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)
		6000 cd/m ²	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)	1° (-6)
			明暗境界判断角度との差の平均 および標準偏差				0.7° 4.69	2.5° 4.34	0.6° 3.56	1.3° 3.43

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。

(4) 輝度・照度分布測定間隔の影響

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 6-5 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、前章までにおける実験では、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 6-5 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 6-5 (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)を測光量(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(視線方向に平行投影された面積)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。

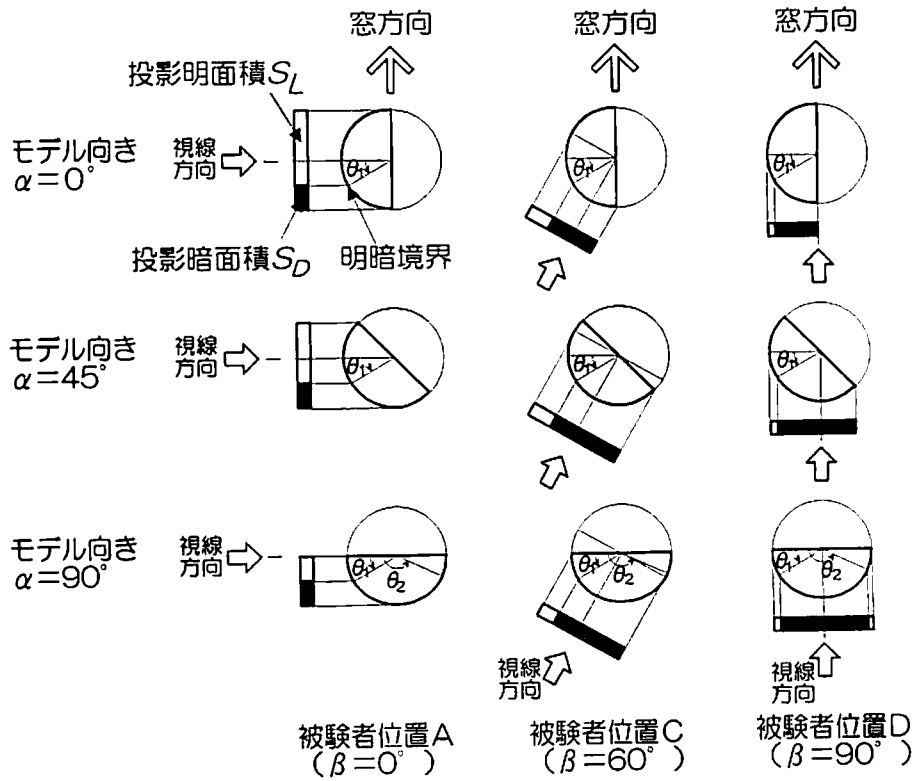
第4章において、実験条件毎のモデルの顔写真から求めた明暗面積比とモデリング評価値との相関が見られた知見、第5章において、モデルの位置での方位別鉛直面照度分布の分析の必要性の指摘などから、測光量(モデルの位置での方位別鉛直面照度分布)から予測することができる円筒の明暗の境界角度とそれより導かれる明暗の見かけの面積は、窓際での人の顔のモデリング評価指標への応用が可能であると考えられる。

6. 4 窓際のモデリング評価指標への明暗投影面積比の導入

6. 4. 1 明暗投影面積比の算出方法

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を測光量(円筒面表面の方位別輝度分布、円筒表面位置での方位別鉛直面照度の分布)により予測・推定可能であることがわかった。以後、輝度、照度分布により予測された円筒の明暗境界位置(角度)を明暗境界角度と呼ぶことにする。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、ある向きに立つモデルを、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割合を、明暗境界角度を使って幾何学的に計算することができる。

図 6-6 はその様子を模式的に示したものである。窓の位置、大きさ、窓からの光量、室内の大きさ、反射率等の違いによりモデルへの窓・室内からの入射光の状況が変われば、モデルの明暗の境界位置(角度)は変化する。模式図のような単一の窓を有する側窓採光室において明暗境界角度は、観察側とその反対側に左右2ヶ所存在することになる。この観察側の明暗境界角を θ_1 、他方の明暗境界角 θ_2 とする。観察位置から見たモデルの明暗の見かけの面積(視線方向に平行投影された面積)のうち明るい部分は、明暗境界角度から窓側にかけての明るい部分の見かけの面積であり“投影明面積”と呼ぶことにする。同様に見かけの暗い部分は、明暗境界角度より室奥向き側の見かけの面積で、“投影暗面積”と呼ぶことにする。この両者の投影された面積割合は、モデルの顔(半円筒)の長さに相当する縦の長さは共通なので、縦の長さを単位長さとするれば、それぞれの投影された長さと同じ。ある明暗境界角度において、被験者位置(窓に対する角度)とモデルの向きにより、投影明面積と投影暗面積は幾何学的に変化し、それぞれの値は円筒の半径を単位長さとするれば式(1)及び式(2)で求めることができる。式(3)に



$$S_L = [\cos(\alpha - \beta) \cdot \{\alpha > \beta\} + \{\alpha \leq \beta\} + \sin(\theta_1 - \beta) \cdot \{\theta_1 > \alpha - 90\} \cdot \{\theta_1 > \beta - 90\} \\ + [\cos(\alpha - \beta) \cdot \{\alpha < \beta\} + \{\alpha \geq \beta\} - \sin(\theta_2 - \beta) \cdot \{\theta_2 < \alpha + 90\} \cdot \{\theta_2 < \beta + 90\}] \dots\dots (1) - \text{投影明面積}$$

$$S_D = \cos(\alpha - \beta) \cdot \{\alpha < \beta\} + \{\alpha \geq \beta\} - \sin(\theta_1 - \beta) \\ - [\cos(\alpha - \beta) \cdot \{\alpha < \beta\} + \{\alpha \geq \beta\} - \sin(\theta_2 - \beta) \cdot \{\theta_2 < \alpha + 90\} \cdot \{\theta_2 < \beta + 90\}] \dots\dots (2) - \text{投影暗面積}$$

α : モデルの向き(deg.), β : 被験者の位置の窓に対する角度(deg.)
 $0(\text{窓平行}) \leq \alpha \leq 90(\text{窓垂直})$, $0(\text{窓平行}) \leq \beta \leq 90(\text{窓垂直})$
 θ_1, θ_2 : 明暗境界角度(deg.), 角度は窓と平行向きを 0° とし、左回り。
 $\{ \}$ 内は論理演算, $\{ \}$ 演算が真の時:1, 偽の時:0 の値とする。

$$R_c = \frac{S_D}{S_L + S_D} \dots\dots\dots (3) - \text{明暗投影面積比}$$

図 6-6 見かけの明暗面積(投影された明暗面積)の模式図と明暗投影面積比の算出式

示すように、投影暗面積の全投影面積（投影明面積+投影暗面積）に対する割合とし、明暗投影面積比と呼ぶことにする。この比の値は0～1の値を持つことになる。

図 6-7 は式(1),(2)及び(3)により求めた明暗投影面積比の例である。モデルの向き α 、被験者の位置の窓に対する角度 β 、明暗境界角度 θ より明暗投影面積比を図 6-7 を使って求めることができる。但し、モデルが窓の中央に位置するような明暗境界位置が窓に

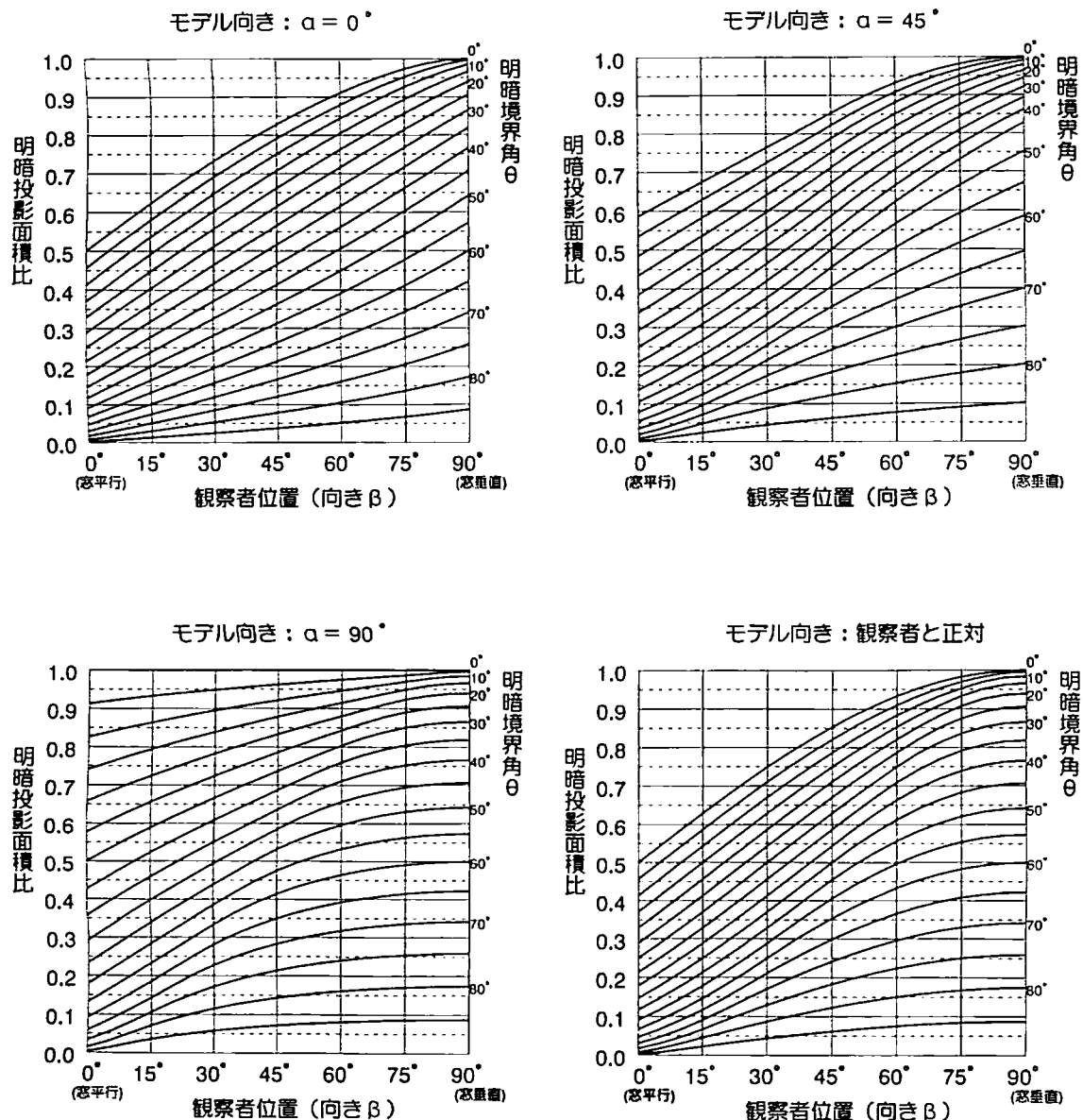


図 6-7 明暗投影面積比を求めるグラフの例

対して左右対称な明暗境界角度 θ_1 、 $\theta_2=180^\circ - \theta_1$ の場合についてのみ示す。

6.4.2 明暗投影面積比とモデリング評価値との関係

表 6-6 に、前章までの窓際での人の顔のモデリング評価実験条件を比較して示す。第 5 章、第 4 章の結果から、窓際の人の顔のモデリング評価指標は、窓からの入射光量あるいは全入射光量に関する変数、室内向き方向からの入射光量に関する変数、被験者視線方向からの入射光量に関する変数の 3 つの変数を使った重回帰式が有効であるという知見が得られている。

その中でも被験者視線方向からの入射光量に関する変数には、モデルの位置での被験者向き半円筒面照度と明暗面積比(モデルの顔写真の濃淡から求めた割合)の 2 つが候補とされた。写真撮影による明暗面積比の算出方法は、モデリング評価の迅速性、予測・推定の見地から現実的とはいえない。明暗投影面積比は写真撮影による明暗面積比と同様なモデルの顔に生じる明暗の程度を表しているものと考えられる。また、その構成手法から、明暗投影面積比は被験者の位置およびモデルの向きのモデリング評価への影響を反映しているといえる。それに対し、被験者向き半円筒面照度はモデルの向きに拘わ

表 6-6 窓際での人の顔のモデリング評価実験条件

		実験条件		
		第 5 章	第 4 章	第 3 章
光環境条件	窓の大きさ	h1310×w815×横 4 枚	h1200×w1600	h1200×w1200, w600, w300 の 3 種
	光源	昼光	人工光源 (白色蛍光灯)	人工光源 (白色蛍光灯)
	窓面の輝度	約 400~10,000 cd/m ² (天空状態により変化)	2000, 4000, 6000 cd/m ² の 3 条件	2000, 4000, 6000 cd/m ² の 3 条件
	室内向き鉛直面照度	約 20~1000 lx (窓からの入射光量にほぼ追随)	150, 300, 600lx の 3 条件	60~680lx で 各 3 段階
観察条件	被験者の位置 (窓面との角度)	A(0°)[窓と平行な向き], B(30°), C(60°), D(90°)[窓と垂直な向き]	左に同じ	A(0°) 窓と平行な向き
	モデルの向き (窓面との角度)	0° [窓と平行な向き], 45° , 90° [窓を背]	左に同じ	0° 窓と平行な向き
	被験者	1 組 4, 5 名 一般学生: 15 組×1 回 研究室学生: 1 組×30 回	男 12 名, 女 18 名	男 25 名, 女 25 名
	モデル	マネキン人形 (女性タイプ, ショートヘア)	女 22 オ (ショートヘア)	男 22 オ

らず同じ値を取るため、モデルの向きに関してのモデリング評価への影響を反映していない。

各章の実験条件毎の方位別鉛直面照度データ(15° 間隔) より明暗境界角度を求め、式(1),(2),(3)を使って明暗投影面積比を求めた。図 6-8 は各章のモデリング評価値と明暗投

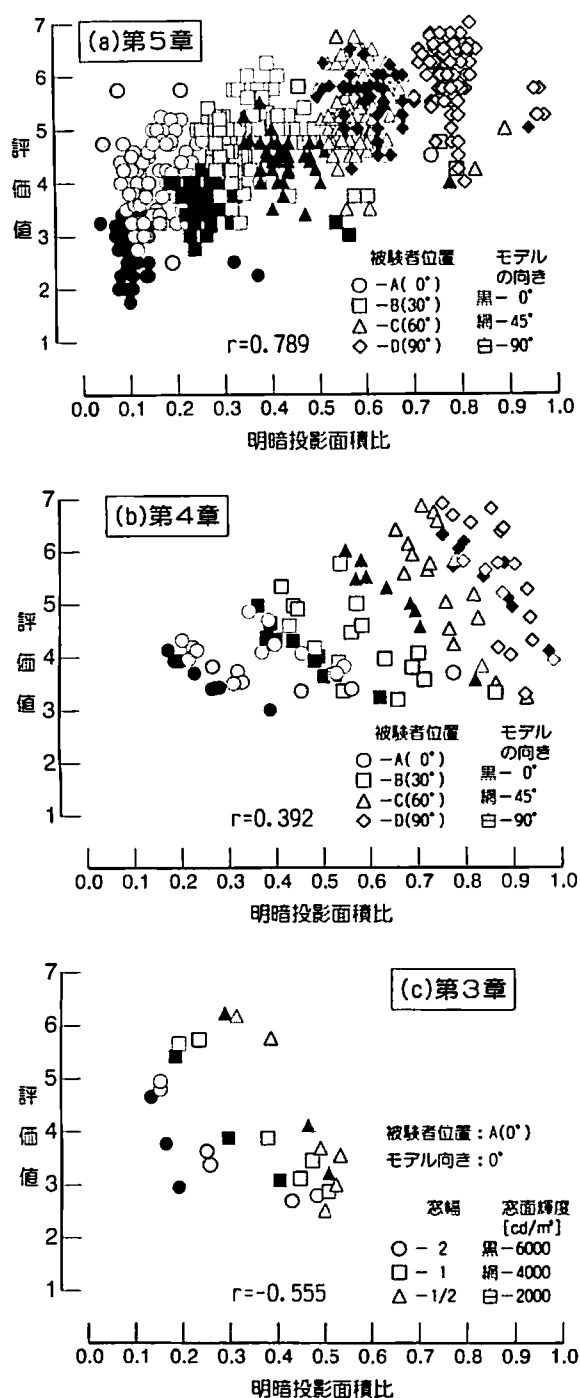


図 6-8 各章の実験時における明暗投影面積比とモデリング評価値

影面積比との関係を示したものである。評価値は各章での窓際のモデリング評価値を用いている。第5章の実験では日光により窓からの入射光量と室内向きからの入射光量は従属的に変化したため、モデリング評価にモデルへの入射光量の影響より被験者の位置およびモデルの向きの影響が顕著に表れた。また、図 6-8(a) (第5章) では評価値と明暗投影面積比に高い相関が見られることから、明暗投影面積比はモデルを見る位置(窓との角度)およびモデルの向きに関する窓際での人の顔のモデリング評価への影響を総合的に反映しているものと考えられる。しかし、図 6-8(b) (第4章)、(c) (第3章) では、明暗投影面積比と評価値の相関は低い。第4章では被験者の位置およびモデルの向きに関する実験条件は第5章と同じにもかかわらず、明暗投影面積比と評価値の相関は低いことから、明暗投影面積比はモデリング評価をそれ自体で説明しているとはいえない。更に、明暗投影面積比が同じであっても評価値が異なる場合がある。これらのことから、窓からの入射光量に変化してもモデルへの方位別入射光量が従属的に変化する(方位別鉛直面照度分布の相対値が類似)場合において、明暗投影面積比はモデルの向き、被験者の位置に関わるモデリングの評価指標として有効であると考えられるが、窓際での人の顔のモデリング評価は、明暗投影面積比とその他の指標を組み合わせた総合的な分析が必要である。

6.4.3 窓際のモデリングの重回帰分析による検討

これまでの実験結果から、評価値を目的変数とし、説明変数に、窓からの入射光量あるいは全入射光量に関する変数、室内向き方向からの入射光量に関する変数、被験者視線方向からの入射光量に関する変数の3つの変数による重回帰モデルが窓際でのモデリング評価指標として有効であることが示された。

明暗投影面積比は被験者位置によりその値が変化することから、明暗投影面積比を被験者視線方向からの入射光量に関する変数と考えることができる。重回帰式の説明変数に被験者視線方向からの入射光量に関する変数として明暗投影面積比あるいは被験者向き半円筒面照度を使い、窓からの入射光量あるいは全入射光量に関する変数、室内向き方向からの入射光量に関する変数は第4章、第5章で得られた重回帰係数が高くなる数種類の変数の組み合わせを用いて重回帰分析を行い、その重回帰式で求めた評価値推定値と評価値との相関係数を求めた。表 6-8 の左枠は第3章～第5章の実験毎のデータを使って、それぞれの場合について重回帰式を求めた評価値推定値と評価値の相関係数

表 6-8 重回帰式による推定値と評価値との相関係数

重回帰式の説明変数		それぞれの実験データを使った重回帰式による推定値と評価値の相関係数 (下線は最も高い値)			第4章の重回帰式による推定値と評価値の相関係数	
		第4章	第5章	第3章	第5章	第3章
1) 明暗投影面積比	2) 窓向き半円筒面照度 3) 室奥向き半円筒面照度	0.941	<u>0.871</u>	<u>0.983</u>	0.810	0.943
	2) 円筒面照度 3) 室奥向き半円筒面照度	0.940	<u>0.871</u>	<u>0.983</u>	0.811	0.943
	2) 半円筒面照度比(窓向き半円筒面照度／室奥向き半円筒面照度)	<u>0.939</u>	0.861	0.958	<u>0.813</u>	<u>0.941</u>
	2) 円筒面照度／室奥向き半円筒面照度	0.938	0.861	0.959	0.814	0.941
1) 被験者向き半円筒面照度	2) 窓向き半円筒面照度 3) 室奥向き半円筒面照度	0.953	0.758	0.974	0.697	0.964
	2) 円筒面照度 3) 室奥向き半円筒面照度	<u>0.954</u>	0.758	0.963	0.698	0.956
	2) 半円筒面照度比(窓向き半円筒面照度／室奥向き半円筒面照度)	0.913	0.560	0.968	0.525	0.956
	2) 円筒面照度／室奥向き半円筒面照度	0.913	0.561	0.961	0.525	0.931

である。相関係数の比較を行うと、第5章でのデータでは明暗投影面積比を用いた方が被験者向き半円筒面照度を用いた方より高い値を示している。第3章、第4章のデータではどちらともいえない。全体としては、明暗投影面積比を用いた方が高い相関を示しているといえる。

これまでの実験を総括したモデリング評価指標を求めるためには第3章から第5章の全データを用いて重回帰分析を行うことが考えられる。しかし、それぞれの実験時の実験条件数が表6-6に示すように異なる(第3章:27条件、第4章:108条件、第5章:540条件)ため、求めた重回帰式に条件の偏りが生じることになる。実験条件の包含度を考えると、窓向きからと室奥向きからの入射光の独立性、モデルの向きと被験者位置に関する条件などから、第4章における実験条件の包含度が最も大きいと思われる。そこで、第4章の実験データから求められるモデリング評価推定式(重回帰式)を使って、第5章、および第3章での実験条件データをこの推定式に代入してモデリング評価推定

値を求め、それぞれの評価値との相関を計算したものが表 6-8 の右枠に示す値である。当然ながら、それぞれの実験条件で求めた重回帰式による評価値との相関係数(表 6-8 左枠)に比べ全体的に低い値を示す。しかし、変数に明暗投影面積比を用いた場合には相関係数の低下はそれほど大きいものではない。第 4 章での実験データに基づく重回帰式はその他の実験も含めた窓際での人の顔のモデリング評価を示す評価式と考えても良いと思われる。

評価式の構築には評価値と評価式による推定値との高い相関性が必要であるが、その評価式はシンプルでかつ用いる変数の数はできるだけ少ない方が望ましい。表6-8右枠の相関係数の値から、その条件に当てはまるものは、表中の編み目で示す明暗投影面積比と半円筒面照度比(窓向き半円筒面照度/室内向き半円筒面照度)の変数を用いた場合が最も適していると考えられる。図6-9は第 4 章における、これらの変数を用いた重回帰式による推定値と評価値の関係を示したものである。被験者位置 B(30°)、モデルの向き90° の数ヶ所を除き Mm=Me line に近接してプロットされている。第 4 章

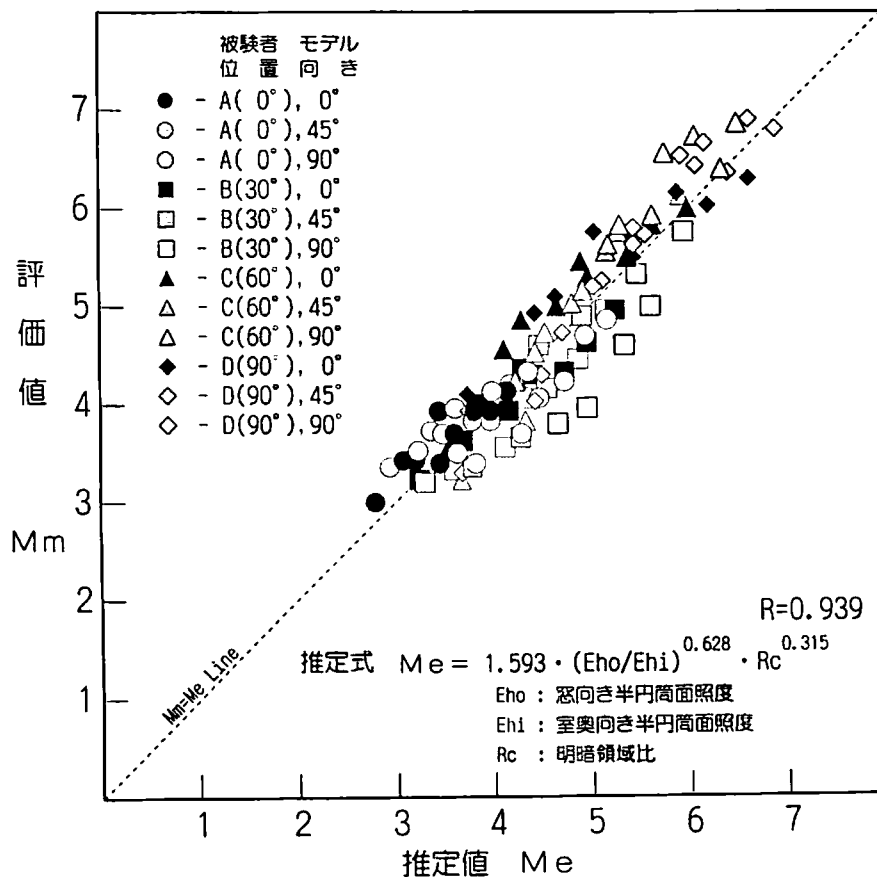


図 6-9 重回帰式による推定値と評価値との関係

の図3-9、図3-10と比較しても遜色のない推定値と評価値の相関を示している。第3章、第5章についての同様のグラフでも $Mm=Me$ line に近接してプロットされ特別な傾向は見られなかった。そこで、この重回帰式を、

$$Me = 1.593 \cdot (Eho / Ehi)^{0.628} \cdot Rc^{0.315} \dots \dots (4)$$

Me：窓際での人の顔のモデリング評価推定値

Eho：窓向き半円筒面照度

Ehi：室奥向き半円筒面照度

Rc：明暗投影面積比

と表し、式(4)を窓際での人の顔のモデリング評価推定式として提案することにする。 Eho/Ehi （窓向き半円筒面照度／室奥向き半円筒面照度）は半円筒面照度比であり、第3章で得られた、窓に平行な向きに立つモデルを正面から見た場合に、評価値と半円筒面照度に高い相関が見られたという知見を踏襲している。窓向き半円筒面照度、室奥向き半円筒面照度、明暗投影面積比の何れも、モデルの位置における方位別鉛直面照度の測定結果から得ることができ、簡便に測定が可能である。

提案した窓際での人の顔のモデリング評価推定式（式(4)）はモデルに当たる窓からと室奥からの光量、モデルの向きとそれを観察する位置（窓との角度）を踏まえており、窓際での人の顔のモデリング評価あるいはその予測を行う上で大変有効であると考えられる。

図6-10は窓際での人の顔のモデリング評価推定式（式(4)）をグラフ化したものである。図中の斜線部は窓際での人の顔のモデリングが概ね好ましいと思われる範囲である。半円筒面照度比および図6-6（明暗投影面積比を求めるグラフ）から図6-10を使って、窓際での人の顔のモデリング評価の概略を把握することができる。

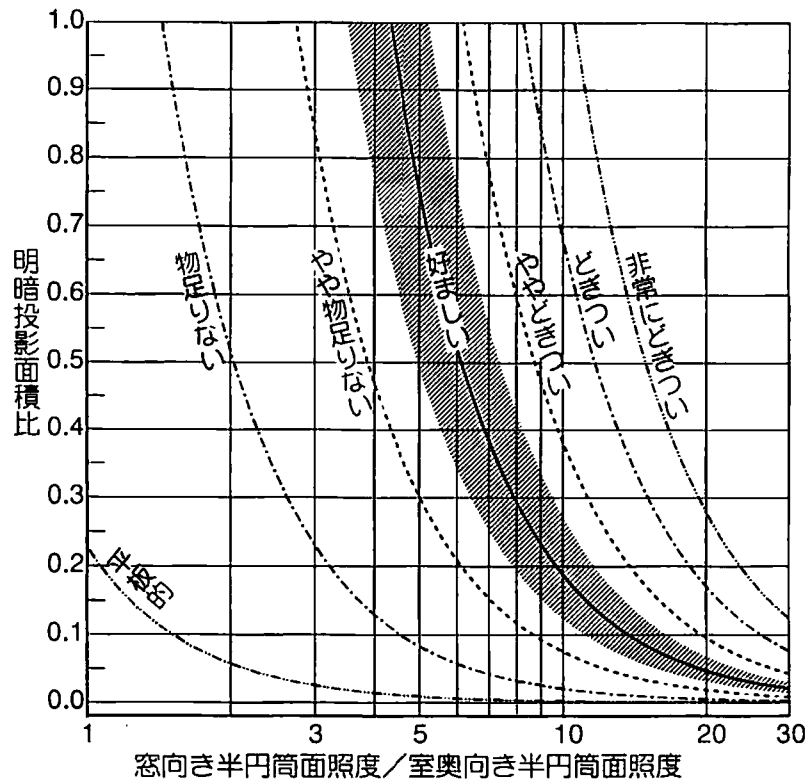


図 6-10 式(4)を使った明暗投影面積比と半円筒面照度比による
窓際での人の顔のモデリング評価図

6.4.4 提案した窓際での人の顔のモデリング評価式（評価図）の使用例

第2章において片側採光の教室、両側採光教室、片側採光務室の窓際での方位別鉛直面照度の測定を行った。それぞれの測定点における方位別鉛直面照度データより、明暗境界角 θ_1 , θ_2 を求め、モデルの向き α 、被験者の位置の窓に対する角度 β を定めて式(1)、(2)、(3)を使って明暗投影面積比を求めた。また、同方位別鉛直面照度データより、窓向き半円筒面照度と室奥向き半円筒面照度を求め、この両値から半円筒面照度比を求めた。図 6-11 は、求めた明暗投影面積比と半円筒面照度比値を使って、片側採光の教室、両側採光教室、片側採光務室の窓際 1m の位置で、窓と平行な向きに立つ人を正面より見た場合（モデルの向き $\alpha = 0^\circ$ 、被験者位置 $\beta = 0^\circ$ ）についてのそれぞれの

値を、図 6-10 上にプロットして示したものである。室のタイプにより窓際でのモデリング状態が異なる様子がわかる。事務室は「物足りない」から「やや物足りない」の評価範囲に分布し、両側採光教室は「物足りない」から「どぎつい」の評価範囲に広く分布していて、全体としては「好ましい」より「やや物足りない」状態となっている。また、片側採光教室では、「やや物足りない」から「ややどぎつい」の評価範囲に分布し、「好ましい」範囲に含まれる場合も他と比べ多くなっている。これら室のタイプによりモデリング評価の分布状況が異なるのは、第 2 章で示したとおり、各室の室内形状、室内反射率の違いにより、被照点における方位別鉛直面照度分布がそれぞれ異なることに起因するためである。

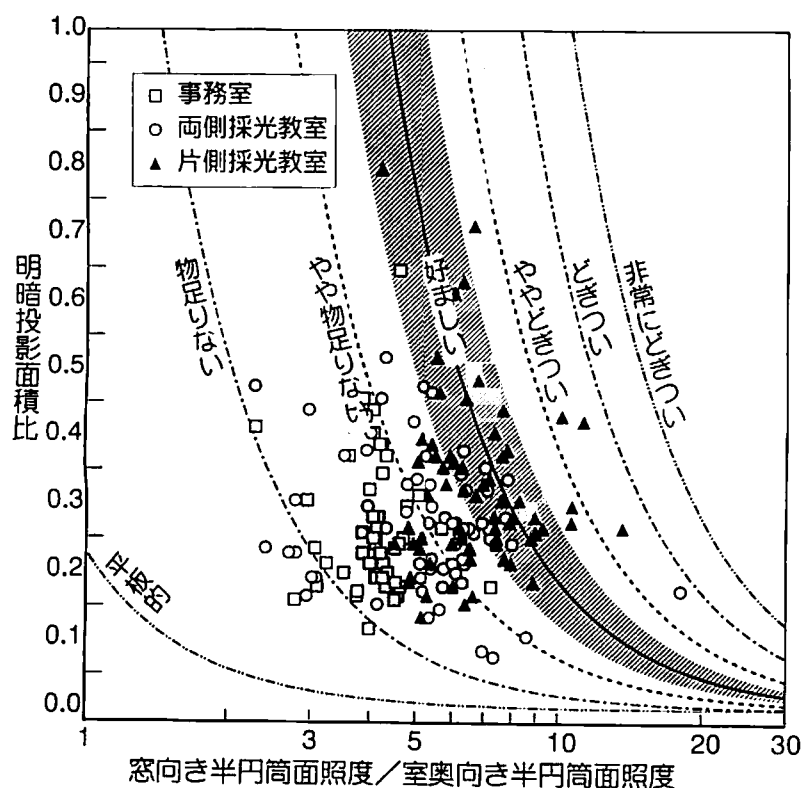


図 6-11 第 2 章での実測データを用いたモデリング評価例 I
(窓と平行な向きに立つ人を正面より見た場合)

同様に、第2章の片側採光教室の窓際1mにおける方位別鉛直面測定データより、明暗境界角 θ_1 、 θ_2 および半円筒面照度比を求め、モデルを見る位置が異なる場合のいずれもモデルと正対した向き（モデルの向き $\alpha=0^\circ$ 、被験者位置 $\beta=0^\circ$ 、モデルの向き $\alpha=45^\circ$ 、被験者位置 $\beta=45^\circ$ 、モデルの向き $\alpha=90^\circ$ 、被験者位置 $\beta=90^\circ$ ）での明暗投影面積比を計算した。図6-12は、これらの明暗投影面積比と半円筒面照度比からそれぞれの位置関係における窓際での人の顔のモデリング状態を示したものである。モデルを見る位置（窓との角度）が窓と平行向きから窓と垂直向きへと変化すると、明暗投影面積比の値が高くなり、窓と平行向きでのモデリング状態が「やや物足りない」あるいは「好ましい」状態から次第に「ややどぎつい」あるいは「どぎつい」状態へと変化する様子がわかる。

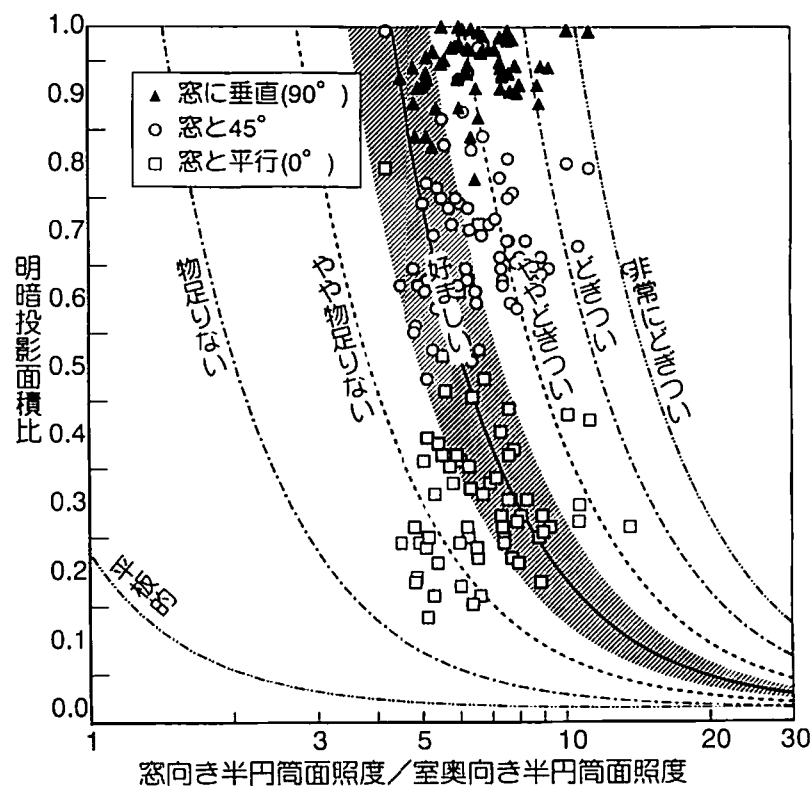


図6-12 第2章での実測データを用いたモデリング評価例Ⅱ
(モデルを見る位置(窓との角度)が異なる場合)

6. 5 結論

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を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‘前角度との照度比’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（明暗投影面積）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) 円筒の輝度、照度分布より求められる明暗境界角とモデルの向き、観察位置(窓との角度)により幾何学的に計算した明暗投影面積比は、窓際での人の顔のモデリング評価指標として有効であることがわかった。

- (5) 前章までの実験で得られた知見を総合的に判断して、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)と明暗投影面積比を変数とする重回帰モデルを構築し、これを窓際での人の顔のモデリング評価推定式として提案した。

提案した推定式に用いる変数は、何れもモデルの位置における方位別鉛直面照度により算出できる値で、窓際での人の顔のモデリング評価を簡便に行うことができる。今後、種々の現実の窓際環境でモデリング評価実験を行い、提案した窓際での人の顔のモデリング評価推定式の実用性の検討を行う必要がある。

【参考文献】

- 1) 神阪祥：カゲ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
- 2) 神阪祥：複数点光源のカゲリ特性，照明学会雑誌，pp.279-283，1977
- 3) 神阪祥：照明方法とカゲリ，照明学会雑誌，pp.391-396，1979
- 4) 例えば，池田光男：視覚の心理物理学，森北出版，pp.133-140，1975
- 5) 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
- 6) 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

第7章 結 論

視対象としての「人の顔」は事務所においては、執務中の打ち合わせ、あるいは会議を通じ、学校においては授業中の教師と生徒、共同作業中の生徒間等の対話相手とのコミュニケーションを図る上で、その見え方が大変重要であり、視対象としての「人の顔」の見え方は照明計画を考える上で重要な要素の一つである。また、省エネルギーの見地から昼光の積極的利用と、昼光と人工照明との調和の必要性が論じられている。快適な昼光照明環境を設計するためには、窓際での人の顔のモデリングの評価方法を確立しなければならない。モデリングを評価する指標はいくつか提案されているものの、広く受け入れられる評価指標が確立されるには至っていない。また、これらの評価実験の多くは、現実の作業空間で問題となる窓際のモデリングを想定して行われたとは言いがたい。そこで、本研究は、窓のように高輝度で、面積の広い光源を主光源とする光環境（模擬環境、実際の昼光照明）において、窓際での人の顔のモデリング評価実験を行い、窓際での人の顔のモデリングの評価指標の抽出ならびに評価式の提案を行った。以下に各章で得られた知見をまとめる。

第1章では、また、従来のモデリングに関する研究をレビューし、特に実験条件とモデリング評価指標について概観した。窓際での光環境特に被照点における入射光の状況が知られていないこと、これまでによく知られているモデリング評価指標では、その実験方法・条件から、窓際での人の顔のモデリング状態を必ずしも評価し得ないことを示し、本研究の目的と意義について述べた。

第2章では、窓際での光の入射状況を把握するためにあらゆる方向での照度の測定が可能で、種々の空間照度の算出が可能である2軸回転式空間照度計を試作した。窓際での光環境特に被照点における入射光の状況が知られていないため、先ず窓際での人の顔のモデリングが問題になる学校や事務所について、2軸回転式空間照度計を使用して、窓際への入射光分布の実測を行った。その結果、鉛直面照度の方位別分布状況は、片側採光室か両側採光室であるか、また室内の反射率の違いによってその分布形状に違いが見られ、これらを方位別鉛直面照度分布、高度別照度分布、照度の全方位分布状況として示した。すなわち、入射光分布は、被照点の位置および室内特性を光学的に反映していることを示した。

第3章では、第2章での測定結果に基づいた（特に方位別鉛直面照度分布を重視した）

窓際の光環境を実験室内に作り出し、窓際での人の顔のモデリング評価実験を行い、窓際での人の顔のモデリング評価と諸測光量との関係を検討したところ、半円筒面照度と窓際でのモデリング評価値との間に良い対応が見られた等の知見が得られた。また、Cuttle らのベクトル・スカラー比によるモデリングの状態の予測と評価実験による評価値とに食い違いが見られることから、窓際のモデリングをベクトル・スカラー比のみで評価するには問題があることを示した。

第4章では、実際の窓際では、視対象である相手の顔とそれを見る人との位置関係は様々であるので、相手（モデル）の顔の向きと観察者の視線方向を種々に変えて窓際での人の顔のモデリング評価実験を行った。その結果、モデルを見る方向（窓との角度）によってモデリング評価に違いが見られ、その程度は窓からの光と室内からの光の強さに左右される。顔面の最高対最低輝度比、ベクトルスカラー比は窓際のモデリング評価に有効な指標とは言い難い。窓際での人の顔のモデリング評価を単独の測光量やその単純な積や商で表すことは困難であり、窓からの入射光量あるいは全入射光量、室内方向からの入射光量、観察視線方向からの入射光量の3つに関する変数（測光量）による重回帰モデルが有効であること等を示した。

第5章では、第4章と同じ観察条件で、執務に使用している室内の実際の窓を使って、窓際のモデリング評価実験を行った。モデルを見る位置（窓との角度）およびモデルの向きによってモデリング評価に違いが見られた。その程度は窓からの光と室内からの入射光量に左右されるが、両者は従属的に変化するため、観察条件が同じであれば、モデルへの入射光量の影響はそれほど大きくはなかった。重回帰モデルがこれまでの種々の測光量を変数とした単独あるいは複数の変数の積や商より、窓際でのモデリング評価に有効であることが第4章と同様に確かめられた。

第6章では、窓からの強い光と室内側からの弱い光はモデルの顔に明暗を生じさせるが、モデルの向き、観察位置により、その見かけの明暗の割合は異なって見えることになる。その明暗割合はモデリング評価に影響があると考えられる。先ずこの知覚される明暗の境界を単純な円筒を使って被験者実験で求めた。その境界位置は円筒表面の経度で5°毎の輝度分布から隣接する2点の輝度比の最も大きな値を示した角度とほぼ一致することが分かった。照度についても輝度の場合と同様な傾向を示すことから、知覚される明暗の境界は方位別鉛直面照度分布から予測できることが分かった。知覚される明暗面積比（明暗投影面積比とよぶ）はモデルの向き、被験者位置、明暗境界角より求ま

り、モデリング評価指標として有効であることを示した。第3章から第5章までに得られた知見と総合して、窓際での人の顔の評価を行うための半円筒面照度比(窓向き半円筒面照度／室奥向き半円筒面照度)と明暗投影面積比を変数とする重回帰モデル推定式(4)を構築した。このモデルに使われている指標は、全て被照点での方位別鉛直面照度を測定することにより得られる値であり測定も容易であり、第3章から第5章までの実験結果と総合的に相関が高く、窓際の人の顔のモデリング評価式として適していると判断した。

以上が本研究の結論である。本研究で得られた知見は、オフィスや学校などの昼光照明を利用した室内において、人と人とのコミュニケーションを円滑に図るために必要な照明環境の評価が可能である。また、提案した窓際での人の顔のモデリング評価推定式に使われる変数の値は、被照点(モデルの顔の位置)での方位別鉛直面照度より全て算出できることから、窓際での人の顔のモデリングをコンピュータによる予測を容易に行うことが可能であると考えられ、昼光照明を利用した室内照明計画・設計に役立つものと考えらる。

今後、本研究を発展させ、昼光照明と人工照明との併用照明における窓際での人の顔のモデリング評価の研究を行い、提案した推定式の検証ならびに追加要因の検討を行い、室内照明計画・設計の指針づくり、および省エネルギー効果と調和した照明制御技術への応用ができることを期待する。

謝 辞

筆者が本研究に入る端緒を与えていただき、また研究を進めるにあたり、終始懇篤なる御指導、御援助、御鞭撻をいただきました熊本大学教授 矢野隆先生ならびに崇城大学教授 小林朝人先生(熊本大学名誉教授)に、心より感謝の意を表します。小林先生には、筆者の卒業研究当時から御指導を賜り、研究の進め方やそれに取り組む姿勢を授けていただきました。重ねて御礼申し上げます。

この論文をまとめるにあたり、熊本大学教授 石原修先生には懇切な御指導、御助言をいただきました。心より厚くお礼申し上げます。

この研究を進め本論文をまとめるために、崇城大学教授 安田博之先生、同教授 野田洋先生をはじめ、本学建築学科の諸先生方の御配慮、御協力がありました。ここに深く謝意を表します。

この論文をまとめることができたのも熊本大学や崇城大学の多くの大学院生や卒論生の惜しみない協力のおかげです。ここに記して心より厚くお礼申し上げます。

本論文に関係する発表論文

【論文】

- 1) Yasuhiro Murakami, Takashi Yano, Asato Kobayashi : Modelling of human face at a window, LUX EUROPA 1993、pp.681-684, 1993
- 2) 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評価実験 その1, 日本建築学会計画系論文集, 第460号, pp.11-19, 1994
- 3) Yasuhiro Murakami, Takashi Yano, Asato Kobayashi: PREFERABLE APPEARANCE OF HUMAN FACE AT A WINDOW, Proc. of the 3rd International Conference HEALTHY BUILDING'94, Vol.24, pp.773-778, 1994
- 4) 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
- 5) 村上泰浩, 小林朝人, 矢野隆 : 現実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
- 6) 村上泰浩, 小林朝人, 矢野隆 : 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, 日本建築学会計画系論文集, 投稿中

【講演】

- 1) 小林朝人, 村上泰浩 : 窓際のモデリングに関する実験的研究, 日本建築学会九州支部研究報告 [環境系], 第31号・2, pp.73-76, 1989
- 2) 村上泰浩, 小林朝人 : 側窓採光室の入射光分布 (鉛直面照度の方向別分布), 日本建築学会九州支部研究報告 [環境系], 第31号・2, pp.76-80, 1989
- 3) 村上泰浩, 小林朝人 : 窓際のモデリングについて-1, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (D), pp.145-146, 1989
- 4) 小林朝人, 村上泰浩 : 窓際のモデリングについて-2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (D), pp.147-148, 1989
- 5) 村上泰浩, 小林朝人 : 2軸回転式照度測定装置 (空間照度計), 日本建築学会中国・九州支部研究報告 [環境系], 第32号・2, pp.181-184, 1990

- 6) 村上泰浩, 小林朝人: 2 軸回転式照度測定装置 (空間照度計), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (D), pp. 171-172, 1990
- 7) 村上泰浩, 小林朝人: 2 軸回転式照度測定装置 (空間照度計) その2 装置の改良と市販測定計器との比較, 日本建築学会九州支部研究報告 [環境系], 第 33 号・2, pp. 37-40, 1992
- 8) 村上泰浩, 小林朝人: 2 軸回転式照度測定装置 (空間照度計) - 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (D), pp. 311-312, 1992
- 9) 小林朝人, 山下俊雄, 村上泰浩: 中心窩順応輝度評価に関する実験的研究第2報順応性状の概略, 日本建築学会論文報告集, 第 324 号, pp. 117-126, 1983
- 10) 村上泰浩, 井手孝治, 矢野隆, 小林朝人: 窓際のモデリングとシルエット現象の評価に関する研究 その1 実験の概要と結果, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 32 号, pp. 1-4, 1991
- 11) 井手孝治, 村上泰浩, 矢野隆, 小林朝人: 窓際のモデリング評価に関する研究 その3 窓面輝度、奥向き鉛直面照度、明暗面積比の影響, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 33 号・2, pp. 25-28, 1991
- 12) 井手孝治, 村上泰浩, 矢野隆, 小林朝人: 窓際のモデリングについて- 3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 75-76, 1991
- 13) 井手孝治, 村上泰浩, 矢野隆, 小林朝人: 窓際のモデリングについて- 4, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp. 313-314, 1992
- 14) 村上泰浩, 田中司, 矢野隆, 小林朝人: 窓際のモデリング評価に関する研究 その4 実際の窓を使つての実験-実験概要と測定結果-, 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 第 9 号・2, pp. 29-32, 1993
- 15) 村上泰浩, 田中司, 矢野隆, 小林朝人: 窓際のモデリング評価に関する研究 その5 実際の窓を使つての実験-結果と考察-, 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 第 9 号・2, pp. 33-36, 1993
- 16) 小林辰暢, 村上泰浩, 矢野隆, 小林朝人: 窓際のモデリングについて- 5, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp. 1139-1140, 1993
- 17) 村上泰浩, 小林辰暢, 矢野隆, 小林朝人: 窓際のモデリングについて- 6, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp. 1141-1142, 1993