自分が存在する場合と外から観察する場合における 空間の明るさ判断の比較

正会員 江 田 哲 也 (宇都宮大学大学院)

専門会員 阿 山 み よ し (宇都宮大学大学院)

Comparison of Brightness Judgment of Space between Observer within and Observer Looking into Space

Member Tetsuya Eda (Utsunomiya University, Graduate School) and

Fellow Member Miyoshi Ayama (Utsunomiya University, Graduate School)

ABSTRACT

To compare brightness judgment, we conducted two experiments. In the first one, the observer evaluated the brightness of a space while within it ("observer's space") by determining the illuminance of another room which gives an impression of equal brightness to that of the "observer's space". In the second one, the observer evaluated the brightness of a space while looking into it through a small window ("observing space"). We also examined the influence of the lightness of the interior wall of the space and the existence of white paper upon brightness judgment in both situations.

Results showed that the brightness of the "observer's space" was judged higher than that of the "observing space". White walls were evaluated as brighter than black walls in both the "observer's space" and the "observing space" while illuminance of the space was kept constant. A space was judged brighter with a piece of white paper than without it especially in the "observing space", which indicates the effect of white paper is eminent in the condition.

KEYWORDS : brightness judgment, observer's space, observing space, white paper

1. はじめに

明るさは、空間の雰囲気と作業性を決定する重要な要素である。空間の明るさの目安としては照度がよく用いられている。様々な視環境条件での適正範囲は、照度基準 (JIS Z9110 - 1979) によって決められている。また、視対象の明るさの測度としては、輝度が用いられている。しかし、視対象や空間の明るさは輝度や照度の絶対値のほかに目の順応状態やその面の分光反射特性、さらには輝度分布の状態に影響される¹⁾。成定²⁾は、視環境照明光下での明るさ感が何によって生ずるかについて述べている。明るさの感じは、照度や輝度の変化だけでは説明できず、例えば「強い光で照明されている」や「明るい色の内装で仕上がられている」と表現される複数の「明るさ感」が混在していると記述している。空間の明るさが照度や輝度で単純に定量化できないことは良く知られており、これまでに様々な視点からの先行研究が試みられてきた。小林ら³⁾は、小型な模型空間を用いて空間の輝度分布が室内の明るさ感に与える影響を調べた。その研究において、空間内を均一に照明した場合よりも不均一に照明した場合の方で明るさ感が減少することを示した。Loe et al⁴⁾は、照明された空間の明るさの主観的評価を行い、空間内の輝度分布との関係を調べた。その研究において、視線の先を中

心として上下 20° 範囲の輝度対比と平均輝度が明るさ評価と高い関連性のあることを示した。池田ら⁵⁾や Mizokami et al⁶⁾は、拡散光により照明された空間に明度の低い物体のみを多数配置すれば同じ照度でもその空間は暗く感じられること、また、彩度の低い物体を配置しても同様にその空間は暗く感じられることを示し、空間内の物体の明度及び彩度が空間の明るさ判断に影響を及ぼすことを示した。この他に、空間の明るさの定量的評価方法として、石田ら⁷⁾や荻内ら⁸⁾は輝度分布から空間の明るさを推定する仮想輝度分布法を提案し、中村ら⁹⁾は複雑な輝度分布であってもコントラストを定量的に検討可能なコントラスト・プロフィール法を提案している。

人の明るさ判断に影響を与える様々な要因を示した上記の研究では、小型な模型装置や実空間に近い装置を用いて行っているなど様々である。しかし、小型な模型空間と被験者自身が存在している実空間の間で、被験者の空間の明るさ判断が同じかどうかについて実験的に検討した研究報告はない。実生活の中で、ある空間の明るさを外から観察して判断するような状況はいくつかある。例えば、外から眺めるショーウィンドウ越しの商品展示室の明るさ、和室の丸窓の向こうの庭の明るさ、などである。もちろんほとんどの場合は、自分がいる空間の明るさ判断が照明を含

めた空間設計に重要な問題である。では、被験者がある空間を外から観察する条件と実際にその空間内にいる条件で、その空間の明るさ判断、言い換えると明るさ感の感度は同じなのであろうか。もしそれらの条件間で被験者の明るさ判断が異なるのであれば、そこに存在するかと外から観察するかという条件は新たな明るさ判断の要因になりうる。

この疑問に答えるために本研究では、図1に示すように、ある照明された空間において、被験者が実際に入室した場合の明るさ判断と小窓からその空間を観察する場合の明るさ判断を比較検討することにした。また、空間内の壁面の明度が空間の明るさ判断に影響を与えることは既往研究^{5), 6)}により報告されている。そこで、被験者が存在する空間と観察する空間で、空間内の壁面の明度が被験者の明るさ判断にどのような影響を及ぼすのかについても検討するために、内壁面の明度を変化させた実験も行った。

図1 目的の概念図
Fig. 1 Purpose of this study .

2. 実験

2.1 空間の明るさの評価方法

明るさ判断の測定法としては、「とても明るい」、「明るい」などの評価を行う主観的評価がある。しかし、明るさへの影響を制御する目的で設定した様々に異なる条件において、空間の明るさを何の参照もなく主観的に評価することは大変難しく、また、例えば「とても明るい」という評価に対応する被験者の判断基準が一定に保たれるかについての検証はさらに困難である。そこで2つの空間を提示し、どちらが明るいかを判断させる二者強制選択法を用いることにした。実験方法としては、明るさ判断の等価値を定めるために、恒常法を用いた。

図1に示す概念図のように、被験者が実際に対象空間に入室する場合を「自己存在空間条件」と呼び、対象空間を外から小窓を通して観察する場合を「観察空間条件」と呼ぶことにする。両者における空間の明るさ判断を比較するのが本研究の目的である。このために、これらとは別の参照空間（マッチング室）を作成した。このような手法として、石田ら¹⁰⁾は、参照ボックスと呼ばれる小さな照明空間を作成し、その参照ボックスの明るさ感とテスト空間の明るさ感をマッチングする参照マッチング法と呼ばれる手法、すなわち参照ボックスの設定値を共通の物差しとして用いる手法で空間の明るさ感評価が可能なのかについて検討した。その結果、共通の参照空間（参照ボックス）によって異なるテスト空間の明るさマッチングが可能であり、被験者間の結果に一貫性があることが示された。

本研究の具体的な実験方法と実験装置について、図2及び図3を用いて説明する。自己存在空間条件ではテスト室A（図2）が主役

である。被験者はテスト室Aのほぼ中心にある固定位置に眼球位置を合わせるように座り、そこを中心にして周りを自由に見渡すことができる。頭部固定はしなかった。被験者には、テスト室Aの空間の明るさと前面にある窓(30 cm×30 cm)を通して観察できるマッチング室の空間の明るさのどちらが明るいかに二者強制選択法により、応答するよう指示した。

図2 自己存在空間の明るさ判断用実験装置の概略図
Fig. 2 Experimental setting for "observer's space" condition .

図3 観察空間の明るさ判断用実験装置の概略図
Fig. 3 Experimental setting for "observing space" condition .

観察空間条件ではテスト室B（図3）が主役となる。被験者は外部からテスト室B（図3）を観察する。そして、観察しているテスト室Bの空間の明るさと、マッチング室の空間の明るさを比較してもらう。テスト室Bの外ならどこから観察しても構わないが、装置の都合上、テスト室Aから観察することにした。テスト室A内は照明を点灯しない暗室にした。被験者は、左側にある小窓(30 cm×30 cm)からテスト室Bを観察し、その空間の明るさ

とマッチング室の空間の明るさを比較し、どちらが明るいのか二者強制選択法により応答してもらった。自己存在空間条件と観察空間条件で用いたマッチング室を観察する窓 (30 cm × 30 cm) と左側にある小窓 (30 cm × 30 cm) は共に被験者から見て窓の一边が視角約 16 度となるように設計した。この設計は、マッチング室とテスト室 B の内壁の角が見えないようにしたためである。内壁の角が見えたと室内の広さの見当が付き、さらに光の当たり具合などから明るさ判断のキューとなりやすいと考えたからである。その時、被験者の目の高さは床面から 75 cm にあり、図 2 及び図 3 に示すような位置に作成した窓を覗き込むことになる。覗き窓は、ほぼマッチング室及びテスト室 B の床面の中心を見るように作成されている。

図 2 及び図 3 のテスト室 A、テスト室 B、及びマッチング室の大きさは全て 210cm の立方体である。照明光源は、市販の昼白色 3 波長域発光形蛍光灯であり、全ての実験装置に同種のものをを用いた。相関色温度は 5000 K である。ただしテスト室 A 及びテスト室 B には乳白板を設置し、光を拡散させると同時に、被験者からは直接蛍光灯が見えないようにした。全ての実験装置には空間内の明るさを自由に調節できるように調光器が設置されている。

テスト室 A 及びテスト室 B の内装は、空間内壁面の明度の影響を検討するため、3 つの視環境条件になるようにした。内壁面の明度が非常に低い (N2.0 相当) 条件、その条件に A4 版の N9.5 の紙 1 枚を置いた条件、内壁面の明度が非常に高い (N9.0 相当) 条件の 3 種である。これ以降各々を黒条件、部分的白条件、白条件と呼ぶ。テスト室の照度としては、実際の視環境照明空間に比べて低い床面照度 30 lx と、食卓や読書などに適した照度範囲である床面照度 300 lx、及び実際の視環境照明空間に比べて高い床面照度 1000 lx を採用した。照度測定に用いたのは、LMT 社製の照度計 B510 である。照度測定点は、テスト室 A 及びテスト室 B の床面のほぼ中心とした。テスト室の照度はほぼ一定になるようにした。また、黒条件、部分的白条件、及び白条件でのスカラー照度を測定した。スカラー照度とは、光の方向性に関係なくある点に入射する光の総量を表す。測定法としては、正六面体の各面の照度を測り、その算術平均値をスカラー照度として用いた。測定の結果、床面照度 30 lx の設定条件下において、ほぼ 20 lx (黒条件: 20.3 lx、部分的白条件: 20.4 lx、白条件: 21.2 lx) であり、床面照度 300 lx の設定条件下において、ほぼ 200 lx (黒条件: 198.1 lx、部分的白条件: 198.6 lx、白条件: 211.8 lx)、及び床面照度 1000 lx の設定条件下において、ほぼ 700 lx (黒条件: 697.4 lx、部分的白条件: 698.4 lx、白条件: 701.5 lx) であった。内壁面の明度が異なる条件間でも、ほとんど違いはなかった。表 1 に各条件別のテスト室の内壁面の輝度を示す。このように、白条件は黒条件と比べて、30 倍から 60 倍の輝度値である。測定はテスト室 A で行った。テスト室 B はテスト室 A と同様に作成してあるので、ほぼ同じ値になると考えられる。輝度測定では、分光放射輝度計 (Photo Research 社製 PR705) を被験者が座る位置に配置し、各壁面下から約 75 cm の水平線上の左端と中央、及び右端で測定し、その 3 点の平均輝度で示してある。

マッチング室の内装は、床は畳と灰色のカーペットで覆われ、色彩豊かなクッションやぬいぐるみを配置した。これは、視覚情報を豊富にして参照となる空間の明るさを判断し易くするためである。

表 1 テスト室の各視環境別の輝度 (単位は cd/m²)

Table 1 Luminance of three environmental settings in test booth. Illuminance of the test booth at the floor in the center of the booth was fixed at 30 lx and 300 lx, 1000 lx.

テスト室：黒条件 及び部分的白条件	30 lx	300 lx	1000 lx
被験者：正面	0.11	0.95	2.46
被験者：後面	0.08	0.97	2.36
被験者：右側	0.05	0.65	2.55
被験者：左側	0.08	0.97	1.87
被験者：床面	0.11	1.07	3.13
用いた A4 版の 白色 (N9.5 相当) 用紙	6.28	66.64	198.30
テスト室：白条件			
被験者：正面	3.59	36.69	135.67
被験者：後面	3.77	36.58	128.73
被験者：右側	3.51	39.24	123.27
被験者：左側	3.83	37.68	121.67
被験者：床面	5.61	49.09	180.40

2.2 実験手順

自己存在空間条件の明るさ判断の実験手順について以下に示す。まず、被験者は紺色の布を着用して実験ブース内に 1 人で入室した。その際、上方の照明光は見ないようにする。この時、マッチング室側の窓は閉じてある。被験者はテスト室 A の中央に座り、ブース内を見渡ししながら 5 分間明順応した。順応後、マッチング室側の窓が開けられ、実験者が照度設定したマッチング室と、自分が存在しているテスト室 A の空間の明るさ比較を行い、どちらが明るいかを口答で応答した。応答後マッチング室側の窓が閉じられ、被験者は再びテスト室 A を見渡す。その間に実験者は、マッチング室の照度を別の設定値にする。照度設定が完了したらテスト室 A のマッチング室側の窓が開けられ、被験者は先程と同様の明るさ判断を行うよう指示される。これを繰り返す。

テスト室の床面照度 30 lx 条件ではマッチング室の床面照度は 2 lx から 60 lx の範囲を対数値で 11 段階に分割し、各試行ではそのいずれかに設定し、ランダムな順で行った。床面照度 300 lx 条件ではマッチング室の床面照度は 10 lx から 1000 lx の範囲を対数値で 19 段階に分割し、また、床面照度 1000 lx 条件ではマッチング室の床面照度は 40 lx から 2500 lx の範囲を対数値で 19 段階に分割し、各試行ではそのいずれかに設定し、ランダムな順で行った。床面照度 30 lx での実験では 5 人、床面照度 300 lx 及び床面照度 1000 lx での実験では 6 人の被験者で実験を行った。全員が色覚正常である。

図4 テスト室を床面照度 300lx に設定した時の自己存在空間と観察空間の個人別での明るさ判断
Fig. 4 Brightness judgment of each observer in observer's space and observing space when illuminance of the test booth was fixed at 300 lx .

観察空間条件の明るさ判断の実験手順も同様である。被験者はテスト室 A (暗黒) の中央に座り、窓を通してテスト室 B を見ることで、5 分間順応した。順応後、マッチング室側の窓が開けられ、実験者が照度設定したマッチング室と、窓から観察しているテスト室 B の空間の明るさ比較を行い、どちらが明るいかを口答で応答した。

条件は、空間条件が 2 条件 (自己存在空間条件と観察空間条件) で、各々において視環境が 3 条件 (黒条件、部分的白条件、白条件) なので計 6 条件となる。各条件で、被験者は 6 セッションずつ行った。上述のようにマッチング室の設定照度はランダムにし、セッションごとに異なるようにした。

3. 実験結果

図 4 に床面照度 300 lx 時の被験者別の結果を示す。横軸は、マッチング室の相対対数照度である。0 は、テスト室の設定照度と同じ値を示すことになる。縦軸は、マッチング室をより明るいと応答した割合である。縦軸の値 50 % の線にある各曲線との交点は、その条件での主観的等価点 (Point of Subjective Equality: PSE と呼ぶ) である。特に個人間の差が大きいのは、観察空間での黒条件であった。自己存在空間及び観察空間という条件に関わらず黒条件、部分的白条件及び白条件の順で個人差は縮まることが示された。テスト室の床面照度 30 lx 及びテスト室の床面照度 1000 lx 設定時の個人別の結果も、同様の傾向であったが、被験者間の相違は床面照度 300 lx の場合より小さかった。

図5 テスト室を床面照度 30lx に設定した時の各視環境条件別の明るさ判断

Fig. 5 Brightness judgment of six environmental settings when illuminance of the test booth was fixed at 30 lx .

図6 テスト室を床面照度 300lx に設定した時の各視環境条件別の明るさ判断

Fig. 6 Brightness judgment of six environmental settings when illuminance of the test booth was fixed at 300 lx .

図7 テスト室を床面照度 1000lx に設定した時の各視環境条件別の明るさ判断

Fig. 7 Brightness judgment of six environmental settings when illuminance of the test booth was fixed at 1000 lx .

表2 各視環境条件下での3種の設定照度条件における主観等価点 (PSE)

Table 2 PSE (Point of Subjective Equality) of the three fixed illuminance conditions in the observer's space and observing space conditions
Numbers are indicated in relative illuminance .

(a) 30lx 条件			(b) 300lx 条件			(c) 1000lx 条件		
	PSE	照度		PSE	照度		PSE	照度
自己存在空間			自己存在空間			自己存在空間		
黒条件	-0.25	16.8	黒条件	-0.13	221.9	黒条件	-0.17	676.1
部分的白条件	-0.23	17.5	部分的白条件	-0.03	281.9	部分的白条件	-0.13	737.9
白条件	-0.03	27.9	白条件	0.14	418.0	白条件	0.04	1086.4
観察空間			観察空間			観察空間		
黒条件	-0.83	4.5	黒条件	-0.63	70.5	黒条件	-0.71	195.0
部分的白条件	-0.49	9.8	部分的白条件	-0.27	163.0	部分的白条件	-0.48	330.4
白条件	-0.11	23.2	白条件	-0.03	280.0	白条件	-0.11	783.4

(a) 床面照度 30 lx

(b) 床面照度 300 lx 条件

(c) 床面照度 1000 lx 条件

図 8 各視環境条件下での 3 種の設定照度条件下における主観等価点 (PSE)

Fig. 8 PSE (Point of Subjective Equality) of the three fixed illuminance conditions in the observer's space and observing space conditions. Numbers are indicated in relative illuminance.

横軸の各点において、全被験者の全応答における「マッチング室がより明るい」応答の割合をプロットしたのが図 5 (床面照度 30 lx)、図 6 (床面照度 300 lx) 及び図 7 (床面照度 1000 lx) である。各プロット点において、白抜きで示された点は自己存在空間条件での結果であり、黒で示された点は観察空間条件での結果である。図 4 に見られるように、被験者 Y F は他の被験者に比べて低照度でマッチング室を明るいと応答している。しかし、色覚視力検査とともに正常であり特別な理由が見当たらなかったため、全体の結果の算出時に被験者 Y F のデータを除外しなかった。

全被験者を統合した結果である図 5 において、自己存在空間と観察空間で著しい違いが見られたのは黒条件であった。そして、部分的白条件から白条件となるに従い、自己存在空間と観察空間の差が

減少していく。図 6 及び図 7 においても、図 5 と同様に自己存在空間と観察空間で違いが見られたのは、黒条件であった。そして、部分的白条件でその差は減少するが、白条件では床面照度 30 lx の条件に比べて差の縮まりは顕著ではなかった。このように、図 5、図 6 及び図 7 から、内壁面の明度の影響を大きく受けるのは観察空間であること、また内壁面による影響は照度に関わらず同様の傾向を示すことが明らかとなった。より詳しく検討するために各々の条件での結果をシグモイド関数 $y = kx^n / (x^n + \sigma^n)$ で近似し、50%を与える主観的等価点 (PSE) を求めた。表 2 及び図 8 に各条件別の主観的等価点を示す。

図 8 を見ると、自己存在空間において、黒条件と部分的白条件の値がそれほど変化しないのに対し、観察空間条件では大きく変化している。また、床面照度 30 lx における白条件では自己存在空間と観察空間の差がほとんど無いのに対し、床面照度 300 lx 及び床面照度 1000 lx におけるその差は床面照度 30 lx に比べて大きい。さらに部分的白条件における自己存在空間と観察空間の差は、白条件におけるその差より僅かに大きい結果となった。また、床面照度 300 lx での白条件では $\log lx = 0.144$ と、テスト室の明るさはその設定照度よりも高いマッチング室の照度と等しいと判断していることが示された。

図 9 各視環境条件下での 3 種の設定照度条件下における傾き

Fig. 9 The inclination of the three fixed illuminance conditions in the observer's space and observing space conditions.

図 9 に図 5、図 6 及び図 7 で得られた各条件別結果から $x = \sigma$ における傾きを示す。図 9 をみると、どの条件でも黒条件、部分的白条件、白条件の順で傾きが增大している。ここでのシグモイド関数の傾きは個人差の範囲を反映しており、図 9 から、個人差は黒条件から白条件への内壁面明度の上昇により減少し、その傾向は観察空間条件でより顕著であることが示された。

このように、空間内壁面の明度の影響を大きく受けるのは観察空間であった。自己存在空間は、観察空間と比べれば、黒条件と部分的白条件の差は小さい。被験者が明るさを判断する空間に存在することにより、その空間の明るさを設定値とほぼ同等の照度で評価したことになるが、内壁面を白とするような極端な条件では、特に床面照度 300 lx 及び床面照度 1000 lx において、自分の存在する空間の明るさを、その設定照度より高い照度と等しいと判断していることが示された。

図 10 順応と明るさ対比による「マッチング室の相対照度と知覚的明るさの関係」のシフトから予想される結果
 Fig. 10 Results that it is expected to shift of "the relation between relative illuminance in matching booth and perceived brightness" for adaptation and brightness comparison .

4. 考察

4.1 マッチング室の評価の変動に関する考察

本研究においては、マッチング室の照度を明るさ判断の測度とし、各条件においてそれを共通の軸として結果を示してきた。しかしながら、例えば内壁面黒の観察空間条件と内壁面白の自己存在空間条件という異なる条件間で「マッチング室の等照度＝被験者における知覚的に等しい明るさ」という保証は、残念ながらない。視対象の知覚的明るさには、視対象の輝度だけでなく、視対象周辺との明るさ対比と観察者の眼の順応状態が影響することは良く知られている。本研究で設定した様々な条件間で、被験者の知覚的明るさ判断は常に一定で、得られたPSE照度の変化は、眼の順応変化や周囲との明るさ対比効果による「マッチング室の照度 vs 知覚的明るさ」の対応関係のシフトを表しているに過ぎないという可能性もある。そこで、そのような仮定から導かれる結果を考えてみる。

眼の順応状態が何によって決定されているかは、それ自体が視覚科学や照明工学の重要な研究課題であるが、ここでは見ている対象の輝度(視対象要因)と被験者が存在する空間の照度または輝度(環境要因)の両方により順応レベルが決まると仮定する。

図 10 (a) は「マッチング室の照度 vs 知覚的明るさ」の対応関係のモデル図である。自己存在空間の白条件で、視対象輝度と環境照度が共に最大なので、その応答関数は最も右側にある(カーブ A)。観察空間の白条件では視対象要因はカーブ A と共通だが、被験者が暗室にいるので環境要因の相違によりやや左にシフトし(カーブ B₀)、さらにマッチング室の覗き窓周辺の輝度は顕著に低下するので明るさ対比効果により応答関数の最大値が増大する(カーブ B)。次に自己存在空間の黒条件の応答関数を考えると、環境要因は自己存在空間の白条件のカーブ A と同様だが内壁面輝度低下により視対象要

因が低くなる分左にシフトし(カーブ C₀)、さらに明るさ対比効果を考慮して応答関数はカーブ C となる。但しこの時の明るさ対比効果は白条件でのカーブ B₀ からカーブ B への増大よりは小幅である。また観察空間の黒条件では観察空間の白条件の応答関数(カーブ B)を視対象要因のシフト分すなわちカーブ A からカーブ C₀ へのシフト量と同様な幅で左方向にシフトし、明るさ対比効果はカーブ B と同様なものとなる(カーブ D)。図 10 (a) の各々のカーブを理解しやすいように、マッチング室とその周囲の状況の模式図(図 10 (b))を付した。

空間の明るさ判断における被験者の明るさ知覚は変化していないのに、眼の順応や明るさ対比による「マッチング室の照度 vs 知覚的明るさ」の応答関数のシフトだけから予測される PSE 照度の結果は図 10 (c) のようになる。カーブ A とカーブ B、カーブ C とカーブ D のシフト量(環境要因によるマッチング室の見えのシフト量)は同じ、カーブ A とカーブ C、カーブ B とカーブ D のシフト量(視対象要因によるマッチング室の見えのシフト量)は同じと仮定すると、図 10 (c) に示す内壁面の条件と主観的等価点の関係図中における、□と◇、●と●は平行移動で示される。しかし、観察空間黒条件の実験結果は顕著に低く、○で示されるような特性となっている。

図 10 (c) の予測と実験結果の相違に対して以下の(1)～(3)に述べる説明が考えられる。

- (1) すべてマッチング室の見えのシフトによって説明可能であり、つまり図 10 (a) でカーブ D がカーブ D' となる
- (2) マッチング室の見えのシフト+自己存在空間と観察空間の違いによる
- (3) 自己存在空間と観察空間の違いが主要因であり、図 10 のようなマッチング室の見えのシフトはほとんどない

上記の(2)と(3)は4.2節以降の考察を否定する訳ではないので、(1)についてのみ詳しく考えてみる。

カーブDがカーブD'になるためには環境要因のシフト量であるカーブC→カーブDのシフト量>カーブA→カーブBのシフト量、もしくは視対象要因によるシフト量カーブB→カーブDのシフト量>カーブA→カーブCのシフト量が必要である。前者は被験者のいるテスト室Aの照明変化による影響が、自己存在空間黒条件から観察空間黒条件への変化>自己存在空間白条件から観察空間白条件への変化、でなくてはならない。これは、内壁面黒だが照明がある視環境から暗室への変化>内壁面白で照明がある視環境から暗室への変化、ということと想定しにくいと考えられる。後者は、暗黒空間内で、内壁面を白にして照明された空間を観察することから内壁面を黒にして照明された空間を観察することに視対象が変化した時の順応効果>自己存在空間での白い内壁面から黒い内壁面に視対象が変化した時の順応効果、でなくてはならない。この可能性は否定できない。なぜなら、暗黒空間内で内壁面を白とした視環境を覗き窓から観察する方が自己存在空間での白い内壁面を見るより明るく知覚されるかもしれないからである。他方で、暗黒空間内で内壁面を黒とした視環境を覗き窓から観察する方が自己存在空間で黒い内壁面を見るよりも明るく知覚されるかもしれない。現在のところ視対象による順応効果に及ぼす周辺条件の影響や周辺条件の違いによる見かけの明るさと順応効果の強さとの関係は未解明である。

以上のように、図10に示した異なる条件間での「マッチング室の照度 vs 知覚的明るさ」の応答関数のシフトだけで本研究の結果を説明するには様々な仮定が必要である。そのような異なる条件間での応答関数のシフトの存在は否定できないが、図8に示される結果をもたらした要因として、自己存在空間と観察空間という条件の違いの影響を考えるのは大胆に過ぎるということもないと考えられる。現在のところ「マッチング室の照度 vs 知覚的明るさ」の応答関数のシフトを定量的に推定する方法がないので、以降の節ではそれを考慮しない立場で考察を展開する。

4.2 個人差について

観察空間黒条件において特に個人差が大きい、この理由は現在わからない。しかし空間の明るさ判断には、例えば「光源の強さ感」という光源から発する光の量に対する感覚や「空間の光量感」という空間内に満ちている光の量に対する感覚が混在していると石田ら⁷⁾は記述している。これは「1. はじめに」で述べた成定による複数の「明るさ感」と通じる。個人によりこれら2つの要因の全体的判断への寄与度が異なるのではないだろうか。例えば図4において、被験者A0の結果はほとんど変わらない。しかし被験者YFにおいては、特に黒条件で他の被験者に比べて設定した明るさよりも低い判断を行っている。被験者A0にとっては、「光源の強さ感」の方が「空間の光量感」よりも強い寄与要因であれば、空間の内壁面の明度に関わらず空間の明るさ判断があまり変動しないと考えられる。一方で、被験者YFにとっては「空間の光量感」の方が「光源の強さ感」よりも強い寄与要因であったとすれば、周りの内壁面が低明度の黒の時に通常よりも暗いと感じるであろう。このように、空間の明るさ判断への複数の要因とそれらの寄与率の個人差により、内壁面の明度による影響をほとんど受けない被験者A0と顕著に影響を受け変化する被験者YFの結果の相違を説明できる可能性はある。

石田ら¹⁰⁾の実験結果においては、内壁面が低明度でありながらも被験者間の結果に一貫性があり個人差も本研究の結果ほど顕著で

はない。本研究の実験と石田らの実験の間の相違点として、テスト室空間内における物体の有無が挙げられる。物体は様々な方向に光を反射し、影もできるので、空間の明るさ感の強力な判断材料となる。我々の実験においては、明るさ判断の要因となる物体を全く置かなかったことが被験者間の個人差を顕著にした理由かもしれない。

4.3 内壁面及び白色表面の影響

当初は、被験者が明るさ判断の対象となる空間内に存在する場合には、内壁面の明度の影響を受けずにその空間の明るさを正確に判断できるのではないかと考えていた。そこで自己存在空間と観察空間と呼ぶ視環境を作成し、各々の条件での空間の明るさ判断を比較検討した。その結果、両方の条件で、内壁面の明度は空間の明るさ判断に影響するが、観察空間条件においてより大きく影響し、内壁面がN2相当の黒条件でのPSE照度値は設定照度の15~25%という値となり大幅に過小評価されることを示した。この結果は、内壁面を低明度に設定した場合、照度一定の参照空間と同じ明るさにするには高明度内壁面空間より高い照度を要するという池田ら⁵⁾の模型空間を用いた実験結果と同様の傾向である。また、表2の結果から、観察空間の黒条件から白条件への照度値が4倍、観察空間の黒条件から部分的白条件への照度値が2倍近くとなっている。この結果は、石田ら¹⁰⁾の参照マッチング法で空間の明るさ感を検討した結果と似ている。石田らの実験1の条件2(小型な模型空間の内壁面を7.6YR5.3/5.2のやや暗めの茶色に設計)の場合と実験1の条件3(実験1の条件2の内壁面を黒色(N2.8)に設計)の場合での参照室の照度値の差が約2倍であったことが示されている。本研究では、実空間を用いて観察したが、小型な参照ボックスを用いて観察した石田らの結果と同様に内壁面の明度を下げると照度値で2倍以上の差が生じる。この結果は、空間の明るさ判断においては、自分がその空間に存在するか、外から観察するかに関わらず内壁面の明度の影響があることを示している。

空間の明るさ判断における白色表面の影響を検討するために行った部分的白条件の結果は興味深い。A4版1枚という被験者の全視野からみるとわずかな面積であるにも関わらず白色表面の存在は、観察空間条件でPSE照度値が黒条件より15~30%アップし顕著に結果として現れた。自己存在条件では、30 lxでは黒条件と部分的白条件のPSE照度値はほとんど変わらなかったが、300 lxと1000 lxではわずかながらPSE照度値が上がっている。

白色に関する既往研究は、白色が周囲にある物体の色の見えや明るさの判断基準になっていることを示している。Gilchrist et al^{11), 12)}は、白を配置することで空間の明るさをより正確に認識できることを示した。一方で、Ayama et al¹³⁾、江田ら¹⁴⁾、太田ら¹⁵⁾は、種々の照明光下で、ほぼ白に近いマンセル色票を多数用いて知覚的白色感順位や白と知覚される色票の領域(知覚的白色領域と呼ばれる)を検討した。本研究で用いた蛍光灯は5000 Kの3波長域発光形蛍光灯である。実験で用いた白色表面はN9.5相当であり、先行研究¹³⁾の結果からこの照明光下では知覚的白色感が非常に高い白色表面だといえる。観察空間条件において、黒条件から部分的白条件の明るさ判断が変化したのは、白色表面の存在が正確な明るさ判断の要因として作用した可能性がある。今後、白色表面という要因が空間の明るさ判断に与える影響についてさらに詳しい検討が必要である。

図 11 照明認識視空間の概念図 (設定照度 30 lx 条件)
Fig. 11 Experimental realization of the recognized visual space of illumination .

4.4 照明認識視空間による解釈

本研究の結果全体として、自己存在空間において、観察空間よりも設定値に近い PSE 照度であった。これは、自己存在空間での明るさ判断が、観察空間でのそれよりも、測光値という次元において正しく推定できるとも言える。この 1 つの要因として、自己存在空間条件の方が観察空間条件よりも明るさを判断する情報量が多いということが考えられる。例えば、池田ら^{5), 17), 18)}, Mizokami et al⁶⁾ 及び山口ら¹⁶⁾ は、照明認識視空間という人間が照明された空間を見たときに瞬時に理解される照明認識の概念を提唱している。空間の明るさ判断とは、被験者の脳内にどれくらいのサイズの照明認識視空間が形成されたのかと言い換えることができる。そこで本研究の結果と照明認識視空間の関係を考えてみる。

図 11 は、本研究の結果の照明認識視空間による解釈の模式図である。ここでは標準的な照明環境下（人間が生活する範囲での昼光もしくはそれに近い相関色温度照明で且つ初期視覚情報が豊富な環境を想定している）で、人間は空間の明るさに関する絶対軸を持つと仮定し、それを縦軸とする。下端は暗黒を示す。図 11 において水平位置が等しいとは空間の知覚的明るさが等しい事を意味する。各々の逆円錐は各条件での照明認識視空間の広がりを表し、逆円錐中の数値はその空間での照度を表す。上に向かって広がっているのは、空間の知覚的明るさが増大するにつれて照明認識視空間の明るさサイズが増大することを直感的に示している。池田らによる照明認識視空間の明るさサイズ概念図における円または球の直径に対応する。どの条件でも上に行くほどその空間の知覚的明るさは増大するが、照度との対応関係は標準照明光下とは異なる。例えば自己存在空間の黒条件の 30 lx は標準照明光下の照度では 17 lx に相当する。部分的白条件と白条件でも同様で、各々 18 lx と 28 lx

となる。逆に各々の条件における 30 lx での断面を描くと図 11 (a) の下部分である。等しい照度という次元を切り口とするならば、照明認識視空間は白条件、部分的白条件、黒条件の順で縮小しており、恐らくそれは池田ら^{19)~21)} のいう初期視覚情報の減少に起因すると考えられる。なぜなら照明認識視空間の明るさサイズ決定には主照明と初期視覚情報が関与しており、自己存在空間の 3 条件間では主照明による照度は一定だからである。観察空間での結果にも同様の解釈を適用すると、図 11 (b) の下部分のようになる。照度一定で比較するなら観察空間の黒条件における照明認識視空間のサイズが最も小さいことになる。このことから、観察空間の黒条件がもっとも初期視覚情報が少ないと推測されるが、これは被験者の内観と一致する。自己存在空間では黒条件でもわずかな壁の壁の陰影や床と壁面との境界のディテールを知覚することができたのに対し、観察空間の黒条件では窓から見える範囲が限定されていたのでそういう情報がごくわずかしかなかった。照明状況を推定するための情報が極めて不十分で且つ壁が黒いので、空間の明るさを過小評価したと考えられる。

5. まとめ

本研究では、ある照明された空間において、被験者がそこに存在する場合の明るさ判断と被験者が外部から小窓を通してその空間を観察する場合の明るさ判断を、3 種の内装条件において比較検討した。その結果、自己存在空間及び観察空間各々において、内装の明度は空間の明るさ判断に影響し、高明度では設定照度よりも明るく、低明度では暗く判断されることが示唆された。また内壁面が低明度でも A4 サイズ 1 枚の白色表面があると空間の明るさ評価が上がり、PSE 照度は設定照度により近い値となった。

自己存在空間と観察空間の比較においては、内壁面が高明度の場合には空間の明るさ評価がそれほど変化しないが、内壁面が低明度になると観察空間条件でより暗いと評価していることが示唆された。

照明設計における応用としては、例えばコリドールにおける小ウィンドウディスプレイの照明や内装に適用できる。その内壁面を比較的高明度に設定しないと予想以上に暗い空間に知覚されてしまう可能性があるため注意が必要である。逆に暗く感じさせたい場合は内装を低明度にするのは効果があることになる。

今後は、4.1節で述べた空間の明るさ判断における視覚系の順応や明るさ判断の対象となる物体または空間とその周囲との明るさ対比の影響の関係についてさらなる検討が必要である。

参考文献

- (1) 照明学会 編：ライティングハンドブック，オーム社，第11章，p. 253 (1987)。
- (2) 成定康平：明るさ感・・・ある複雑な感じ，照学誌，67-7，pp. 297-299 (1983)。
- (3) 小林茂雄，中村芳樹，木津努，乾正男：空間の輝度分布が室内の明るさ感に与える影響，建学論議，487，pp. 33-41 (1996)。
- (4) D. L. Loe, K. P. Mansfield and E. Rowlands: Appearance of lit environment and its relevance in lighting design: Experimental study, Light. Res. Technol., 26-3, pp. 119-133 (1994)。
- (5) 池田光男，金子文香：照明認識視空間への初期視覚情報の影響 — 明度と彩度の場合 —，照学誌，80-5，pp. 319-324 (1996)。
- (6) Y. Mizokami, M. Ikeda and H. Shinoda: Lightness change as perceived in relation to the size of recognized visual space of illumination, Opt. Rev., 5-5, pp. 315-319 (1998)。
- (7) 石田泰一郎，荻内康雄：空間の明るさ感の心理的決定要因 — 光源の強さ感と空間の光量感 —，照学誌，84-8A，pp. 473-479 (2000)。
- (8) 荻内康雄，石田泰一郎：仮想輝度分布法による空間の明るさ感推定の有効性，照学誌，87-2，pp. 105-112 (2003)。
- (9) 中村芳樹，江川光徳：コントラスト・プロファイルを用いた明るさ知覚の予測 — 輝度の対比を考慮した明るさ知覚に関する研究 (その2) —，照学誌，89-5，pp. 230-235 (2005)。
- (10) 石田泰一郎，荻内康雄：参照マッチング法による空間の明るさ感評価の基礎的検討，照学誌，83-5，pp. 295-305 (1999)。
- (11) A. Gilchrist and A. Jacobsen: Perception of lightness and illumination in a world of one reflectance, Perception, 13, pp. 5-19 (1984)。
- (12) A. Gilchrist, C. Kossyfidis, F. Bonato, T. Agostini, J. Cataliotti, X. Li, B. Spehar, V. Annan and E. Economou: An anchoring theory of lightness perception, Psychological Rev., 106-4, pp. 795-834 (1999)。
- (13) M. Ayama, T. Akatsu, K. Toriumi, K. Mukai and S. Kanaya: Whiteness perception under different types of fluorescent lamps, Color Res. Appl., 28-2, pp. 96-102 (2003)。
- (14) 江田哲也，阿山みよし，金谷末子，向健二：電球色及び昼光色蛍光灯照明下における知覚的白色領域，照学誌，89-2，pp. 91-99 (2005)。
- (15) 太田亜紀子，金谷末子，阿山みよし，向健二：異なる照明光下における白色知覚に関する検討，照学誌，89-11，pp. 773-781 (2005)。
- (16) 山口秀樹，篠田博之，池田光男：室内環境の最高明度が照明認識視空間の明るさサイズに与える影響，照学誌，88-5，pp. 274-280 (2005)。
- (17) 池田光男，福村史麻：初期視覚情報の増大による照明認識視空間の形成過程，照学誌，79-8A，pp. 392-399 (1995)。
- (18) 山内留美，池田光男，篠田博之：初期視覚情報の増大による照明認識視空間の構築，光学，30-1，pp. 41-48 (2001)。
- (19) M. Ikeda, H. Shinoda and Y. Mizokami: Phenomena of apparent lightness interpreted by the recognized visual space of illumination, Opt. Rev., 5-6, pp. 380-386 (1998)。
- (20) 池田光男：照明認識視空間の照明設計への応用 (その1) 照明認識視空間の考え方，照学誌，83-12，pp. 913-916 (1999)。
- (21) M. Ikeda: Color appearance explained, predicted and confirmed by the concept of recognized visual space of illumination: Opt. Rev., 11-4, pp. 217-225 (2004)。

(受付日 2005 年 10 月 4 日 / 採録日 2006 年 2 月 3 日)

江田 哲也 (正会員)

宇都宮大学大学院工学研究科
情報制御システム科学専攻
〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2

1978 年 10 月 7 日生まれ。2001 年 3 月宇都宮大学工学部情報工学科卒業，2006 年 3 月宇都宮大学大学院工学研究科 ICS 専攻博士後期課程修了。工学博士。照明学会，日本光学会会員。

阿山 みよし (専門会員)

宇都宮大学大学院工学研究科
情報制御システム科学専攻
〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2

1954 年 4 月 10 日生まれ。1983 年東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻博士課程終了。宇都宮大学工学部助教授を経て現在大学院工学研究科教授。工学博士。視覚情報処理，色彩科学，視聴覚相互作用，自動車運転者の視覚認知特性の研究と教育に従事。照明学会，日本照明委員会，日本視覚学会，応用物理学会，日本光学会，日本色彩学会，映像情報メディア学会会員。