

JIER-004

等明るさ感照度比の定量化の試み

明るさ感覚研究調査委員会研究報告書

委員長 池田光男

昭和61年1月

目次

| | |
|----------------------------------|----|
| 第1章 委員会の目的と活動経緯 | 1 |
| 1.1 はじめに | 1 |
| 1.2 委員会の目標 | 1 |
| 1.3 委員会の構成 | 2 |
| 1.4 報告書作成の分担 | 2 |
| 1.5 委員会活動の経緯 | 3 |
| 1.5.1 経緯 | 3 |
| 1.5.2 関連活動 | 3 |
| 第2章 歴史的背景 | 4 |
| 2.1 明るさの定量的取り扱いの必要性と問題点 | 4 |
| 2.2 明るさの感覚量と刺激量 | 4 |
| 2.3 測光量 | 5 |
| 2.4 ヘルムホルツ・コールラウシュ効果（明るさ／輝度比の問題） | 6 |
| 2.5 演色性と照明光の明るさ感 | 6 |
| 2.6 3波長域発光形蛍光ランプによる明るさ感とその表現の問題点 | 7 |
| 2.7 日本電球工業会の動き | 8 |
| 第3章 海外における実験研究 | 9 |
| 3.1 光源の色温度と快適な照度の関係 | 9 |
| 3.1.1 Krui th ofの実験 | 9 |
| 3.1.2 Bodmannらの実験 | 9 |
| 3.1.3 Schroderrらの実験 | 10 |
| 3.2 光源の演色性と明るさ感 | 10 |
| 3.2.1 Astonらの実験：“明瞭感” | 10 |
| 3.2.2 Bellchamberらの実験：“明瞭感” | 10 |
| 3.2.3 Boyceの実験：“満足感” | 10 |
| 3.2.4 Lemonsらの実験：“明瞭感” | 10 |
| 3.2.5 Thorntonらの実験：“明瞭感” | 11 |
| 3.3 従来の研究のまとめ | 11 |
| 第4章 国内各研究機関における実験 | 12 |
| 4.1 湯尻委員（広島工業大学）による実験 | 12 |
| 4.1.1 実験装置 | 12 |
| 4.1.2 ランプ仕様 | 12 |
| 4.1.3 照明条件 | 12 |
| 4.1.4 観察条件 | 13 |
| 4.1.5 観察者 | 14 |
| 4.1.6 結果 | 14 |
| 4.1.7 考察 | 15 |
| 4.2 東芝における明るさ感等価照度の実験 | 17 |

| | | |
|---------|---------------------------------|----|
| 4. 2. 1 | 実験条件と結果の総括 | 17 |
| 4. 2. 2 | 実験A：併置ブースの同時比較 | 19 |
| 4. 2. 3 | 実験B：2室内継時比較 | 20 |
| 4. 2. 4 | 実験C：同色・異分光分布照明における明るさ感マッチング | 23 |
| 4. 2. 5 | 色域面積による実験式 | 26 |
| 4. 3 | 松下における光源の色温度・演色性と明るさ感の定量化に関する実験 | 28 |
| 4. 3. 1 | 光源の色温度が明るさ感におよぼす影響に関する実験（実験1） | 28 |
| 4. 3. 2 | 光源の演色性が明るさ感におよぼす影響に関する実験 | 29 |
| 4. 4 | 三菱実験 | 51 |
| 4. 4. 1 | 実験の目的 | 51 |
| 4. 4. 2 | 実験1 | 51 |
| 4. 4. 3 | 実験2 | 53 |
| 4. 4. 4 | 考察 | 54 |
| 4. 5 | 東京工芸大学に於ける参考実験 | 62 |
| 4. 5. 1 | 実験A | 62 |
| 4. 5. 2 | 実験B | 65 |
| 4. 5. 3 | 実験C | 66 |
| 第5章 | 実験式の導出 | 73 |
| 5. 1 | 実験式導出の条件 | 73 |
| 5. 2 | 順応条件における等明るさ感照度比の実験式 | 74 |
| 5. 3 | 併置比較における等明るさ感照度比の実験式 | 76 |
| 5. 4 | 実験式の予測精度 | 77 |
| 5. 5 | 基準の白色蛍光ランプの相対分光分布による実験式の簡略化 | 77 |
| 第6章 | 実験式の適用範囲と使用上の注意 | 78 |
| 6. 1 | 実験式の適用範囲 | 78 |
| 6. 1. 1 | 観測条件 | 78 |
| 6. 1. 2 | 色温度 | 79 |
| 6. 1. 3 | 照度 | 80 |
| 6. 2 | 使用上の注意 | 80 |
| 第7章 | 明るさ感増大の理論的考察 | 83 |
| 7. 1 | ヘルムホルツ・コールラウシュ効果（B/L効果） | 83 |
| 7. 2 | B/L効果の理論的根拠 | 84 |
| 7. 3 | B/L効果と蛍光ランプによる明るさ感増大との比較 | 84 |
| 第8章 | 明るさ感についての一般的考察 | 87 |
| 8. 1 | ”明るさ”と”明るさ感” | 87 |
| 8. 2 | 明るさと言う言葉の意味内容 | 87 |
| 8. 2. 1 | 客観的存在としての光の明るさ | 87 |
| 8. 2. 2 | 感覚或は感覚量としての明るさ | 88 |
| 8. 2. 3 | 雰囲気としての明るさ | 90 |
| 8. 3 | 明るさ感 | 91 |

| | | |
|------|---------------|----|
| 8.4 | ”明るさ感”に係わる諸条件 | 91 |
| 8.5 | 考察の総合的結論 | 93 |
| 第9章 | 考察と今後の課題 | 94 |
| 9.1 | 考察 | 94 |
| 9.2 | 今後の課題 | 94 |
| 参考文献 | | 96 |

第1章 委員会の目的と活動経緯

1. 1 はじめに

近年、三波長発光型蛍光灯が開発され、これが同じ光束量であるのに従来の電灯よりも明るい視環境を提供するということから、にわかに注目を集めた。同じ光束量の光が必ずしも同じ明るさを呈するとは限らないことは古くからいわゆるヘルムホルツ・コールラウシュ効果として知られており、 B/L なる語も広く普及していることで、決して珍しい事ではない。(2, 31) またその基礎的研究も進んでおり、明るさには視覚系の色チャンネルの出力が大いに関与すること、従って同じ光束量の光でもより多く色チャンネルを刺激する光の方が明るく知覚されることなどが解明されている。(27, 28, 59)

三波長発光型蛍光灯で具現化した明るさ感もこの B/L と関係のある現象と思われるが、蛍光灯の場合は実際の視環境での問題なので、その明るさ感決定に際して心理的要因が多く介入して来ている可能性があり、したがって今までの B/L の基礎的研究の成果が直ちに活用出来るとは限らないと考えられる。しかし三波長発光型蛍光灯の急激な普及の現状に対して、その根本的解明は将来の課題とするにしても、等明るさ感照度比の定量化は急務の必要であるとの認識から、現在得られている蛍光灯と明るさ感の関係のデータを検討し、電灯の既知の特性とこの新しい明るさ感という評価量との関係を明確にしようという事になり、「明るさ感覚研究調査委員会」が設置された。

1. 2 委員会の目標

先ず最初に明確にしておきたいことは、本委員会が取り扱うのは、照明光源によって視環境に醸し出される明るさ感であり、光学系などを使って行われるような実験での、明るさではないということである。従って本委員会では上に述べた B/L 値を常に念頭に置きながらも、それにはとくに囚われることなしに、独自に明るさ感を取り扱うと言う姿勢をとるものである。

次に指摘して置きたいことは、明るさ量のものは取り扱わないということ。例えばある部屋がある照明光源によって照らされている時に、そこに居る観測者はこれこれの明るさ感を感じる、また他の照明光源の場合にはこれこれの明るさ感である、などの様に、明るさ量の量を知ることは本委員会としても大変興味を持つものではあるが、本委員会はそれは取り上げない。本委員会発足のきっかけとなった各企業における三波長型蛍光灯の明るさ感の実験では、明るさ量の量を取り扱ったものは一つもないのであり、全て次に述べる等明るさ感照度比を研究している。

本委員会は、従って、以下のことをその目標とする。即ち或る標準光源と或る照明光源が等しい明るさ感を与えている時の両者の照度の比を、種類の照明光源について調べ、そのデータを基に、この等明るさ感照度比を照明光源の物理的あるいは心理物理的から予測する予測式を導出することである。

1. 3 委員会の構成

| | |
|------------|------------------------------|
| 池田光男 (委員長) | 東京工業大学大学院総合理工学研究科 |
| 不破正宏 (幹事) | 電子技術総合研究所量子技術部 |
| 内川恵二 (幹事) | 東京工業大学大学院総合理工学研究科 |
| 石野正敏 | 株式会社東芝横須賀工場 |
| 金谷末子 | 松下電器株式会社照明開発センター |
| 河合 悟 | 中京大学文学部 |
| 川上元郎 | 東京工芸大学工学部 |
| 佐川 賢 | 製品科学研究所人間工学部 |
| 成定康平 | 松下電器株式会社照明開発センター |
| 西影陽介 | 日本電気ホームエレクトロニクス株式会社 照明事業部 |
| 萩原真樹 | 日立製作所青梅工場 |
| 長谷川敬 | NHK放送技術研究所 |
| 明道 成 | 三菱電機株式会社商品研究所 |
| 桃北 正 | 電球工業会 |
| 森 礼於 | 株式会社東芝総合研究所 |
| 湯尻 照 | 広島工業大学工学部 |

1. 4 報告書作成の分担

報告書作成の基礎となった委員会での討論には全委員が参加したことは無論であるが、本報告書の具体的作成に当たっては以下のような分担をした。

- 第1章 池田委員長、内川委員
- 第2章 森委員
- 第3章 金谷委員
- 第4章 各実験担当者
- 第5章 森委員
- 第6章 成定委員
- 第7章 内川委員
- 第8章 河合委員
- 第9章 池田委員長

1.5 委員会活動の経緯

1.5.1 経緯

照明学会明るさ感覚研究調査委員会はアドホック委員会として昭和58年度に発足し、昭和58年7月7日に第1回委員会が開催された。その後、委員会は昭和60年5月21日の最終委員会まで昭和58年度に6回、昭和59年度に9回、計15回の開催となった。この間、委員会では、1.2項に示されている委員会の目標達成のために研究発表、熱心な討論が続けられた。以下、委員会で行った主な内容についてまとめる。

- (1) 各研究所（メーカー、大学）における実験の発表
- (2) 各実験の実験方法と結果の詳細かつ具体的な説明とそれに対する疑問点の解消
- (3) 実験結果の整理（縦軸は等明るさ感照度比，横軸は蛍光ランプの特性を示す量の共通軸）と比較
- (4) 実験式の提案と実験式使用上の注意事項のまとめ
- (5) 明るさと輝度との相違（B/L効果）に関する研究サイドからの発表
- (6) B/L効果と蛍光ランプによる明るさ感増大との比較および両者の差異に関する討議（”明るさ”と”明るさ感”の違い）
- (7) 明るさ感に関する用語の定義について

1.5.2 関連活動

明るさ感覚研究調査委員会では各回の委員会以外にも次に示すような活動を行った。

(1) 照明学会全国大会（昭和58年度）における「明るさ感と新測光システムシンポジウム」を光の量の視感覚による評価体系研究調査委員会と共催した。そこでは、現在の測光システムの問題点を明らかにし、明るさ感に基づく新しい測光システムの重要性を広くアピールすることをめざした。また委員会での当面の問題解決のための新しいデータの発見につとめた。

(2) '84国際シンポジウム「明るさ感覚を表す新しい測光システムに向けて」の世話委員会となり、'84国際シンポジウムの本大会を企画し、技術討論会「明るさ感のとらえ方と定量化」を主催した。そこでは、国際的にも明るさ感に基づく測光システムの重要性が認識され、その確立がCIEなどで急がれていることを一般に示すとともに、明るさ感に関する諸問題、問題点を十分に討議した。

第2章 歴史的背景

2.1 明るさの定量的取扱いの必要性和問題点

われわれの環境をより明るく照らして、種々の視作業が楽に能率的に行なえるようにし、また物が美しく見える快適な雰囲気を作ることは一般の欲求であって、照明工学の目的もそれをできるだけ効率的に実現することにある。それにはまず“明るさ”を定量的扱うことが必要である。“明るさ”は、それを感じる人の状態に支配される心理的な量であるが、物理的な光（放射）の量の大小と密接に関連することもまた確かである。このような観点から、明るさに関連する測光量が物理的に定義された。光束、照度、輝度等に代表される測光量は視作業の機能を追及するための判定基準として適切で、永く光源、照明の設計評価に利用されてきたし、この事情は今後も変わらないであろう。

しかし、視環境の中での物体の見かけの“明るさ”の大小は測光量の輝度で表されるかという、色が異なる面については必ずしもそうではないことも分っている。さらに複雑な問題として、同じような部屋を演色性が相当異なる光源で等しい照度に照明した時に、両方の部屋の明るさの感じは同じになるとは限らない。そこで“明るさ感”ということが問題にされるようになった。本章ではここに至るまでの明るさの数量化に対する考え方の変遷をまとめて問題の所在を明らかにする。

2.2 明るさの感覚量と刺激量

目に閾値以上の光（可視放射）が入射すると明るさを感じ、その刺激量 S を増大させるとそれに応じて明るさの視感覚量 R はある関数 $F(S)$ によって増大する。

$$R = F(S) \quad (2.1)$$

この関数 $F(S)$ の形は観察者の目の状態にも、刺激自体やその周囲の状況などにもよっても変わるが、普通にはそれは非直線的で、単調増大の関数でまたその2次微係数は負である。

一般に多くの種類の感覚について、刺激量を等比的に変えると感覚は等差的に変化する。いい換えれば、刺激量の対数をとるとほぼ感覚量に合う尺度が得られる、ということが古くからウェーバ-フェヒナの法則として知られている。しかしウェーバ-フェヒナの法則は近似法則であって、視覚における明暗の場合には、刺激量の立方根をとる方が感覚尺度により良く近似するといわれている。このような明るさの感覚尺度を知ることは、刺激量の許容値を定めたり、目立ちやすさを推定するために必要なことであるが、前述のような複雑な視環境についてそれを明確にすることは容易ではない。

しかし、照明工学を始め多くの人間生活環境に関する工学においては、いつでも感覚尺度が必要なわけではなく、ある目的に必要な感覚の条件に対する等価な刺激量が分れば十分で、あとはその等価刺激量を効率的に実現する方法を追及することが主題になる。その場合は複雑な関数を含む感覚尺度よりも、物理量の一次関数で表現できる等価刺激の方が取扱いに便利である。

ただし光の場合には、“明るさ”の感覚量に対応する刺激量が何かということが問題である。放射には波長の次元があって、波長ごとに光としての明るさや色の性質が異なるからである。従って分光分布 $P(\lambda)$ という純粋な物理量から感覚に対応する刺激量 S とするには別の関数 f を考えなければならない。

$$S = f [P(\lambda)] \quad (2.2)$$

この関数 $f(P)$ の形を定めることはやはり簡単ではないが、上記の $F(S)$ を求めるよりは容易である。なぜならば感覚の大小の尺度化は行なわないで感覚が等価な刺激の分光分布の間の関係を解析すればよいからである。光の“明るさ”に対する測光量、色に関する色度座標などはこの目的にかなう刺激量の典型的なものであって、心理的な意味をもって物理的に定義された量として心理物理量とも呼ばれる。

すなわち光の分光分布という物理量から“明るさ”の心理感覚量まで変換するには、式(2.2)および式(2.1)の2段階を必要とする。しかしここで問題とするのは、式(2.2)すなわち“明るさ感”の心理物理量的取扱いまでである。

2.3 測光量

視角 2° の視野の特定の条件の下で定められた C I E 1924 明所視比視感度 $V(\lambda)$ はそれによって、分光分布が異なる $P_1(\lambda)$ 、 $P_2(\lambda)$ の放射を評価して、

$$\int P_1(\lambda) V(\lambda) d\lambda = \int P_2(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (2.3)$$

の条件が満足される限り、明るさの刺激量(測光量)は等しくなるものと定義した。

ここで注意を要することは、 $V(\lambda)$ を定める視感実験として波長 λ の放射と一定の基準放射(例えば白色光または一定波長の単色光)とを直接に併置して明暗を比較する実験データは、判断が難しく信頼性が乏しいという理由で採用しなかったことである。色のちらつきは感じられないで、明暗のちらつきだけが知覚される特定の周波数で測定および参照光を交互に出す交照(フリッカー)法か、または色の差が感じられない程度に波長差が小さい光を順次に比較する段階比較(step-by-step)法のデータだけを採用した。式(2.3)で定めた刺激量が等価になる条件で感覚的にも明るさが等しく見えるのは、厳密には

上記のように色の差が感じられない場合に限られる。

今日の近代化、精密化した定義では、光束は振動数540THz（波長約555nm）の放射束1/683Wを1ルーメン（lm）とし、式（2.3）で等価が定義される量となる。これから光度、輝度などの測光量が定義される。

2.4 ヘルムホルツ-コールラウシュ効果（明るさ／輝度比の問題）

実際に色が異なる光を2分割視野に併置して出して、その輝度を調節して両者の明るさを合せる実験を行なうと、観察者ごとの個人差があることはもちろんであるが、多くの観察者の平均値は比視感度 $V(\lambda)$ で予測されるよりも、一般に高彩度の色の方が低い輝度で明るさが合うという結果がでる。

これが光源色の明るさ（Brightness）／輝度（Luminance）比、または表面色の明度（Lightness）／Y刺激値（Y）比が色度によって変化する現象として研究の対象となったのは1950年代後半からであるが、現象としては古くからある程度までは気付かれていてHelmholtz-Kohlrausch効果という。

(58)

これについての実験データは多く集積されていて、Ware-Cowanは最近、任意の色度座標

x, y の色について明るさが白色と等価

になる輝度の逆数の比の対数 $C(x, y)$

を次の近似実験式にまとめた。

$$C(x, y) = 0.256 - 0.184y - 2.527xy + 4.656x^3y + 4.657xy^4 \quad (2.4)$$

この式による等B/L軌跡を図5.1に示す。この実験式は視角が $0.5 \sim 2.0^\circ$ 、視野輝度 $2\text{cd}/\text{m}^2$ 以上の実験についてまとめたものである。

2.5 演色性と照明光の明るさ感

-- visual clarity

蛍光ランプが開発されたのは1938年であるが、広く普及したのは1950年頃からである。この頃ハロリン酸カルシウム蛍光体が実用化されてランプの初光束、光束維持特性が大きく向上した。それと同時にこの種のランプの演色性の不十分さが問題にされるようになり、これに対して赤色部の発光を増強した高演色型ランプも開発された。しかし発光波長域を広げる方法による演色

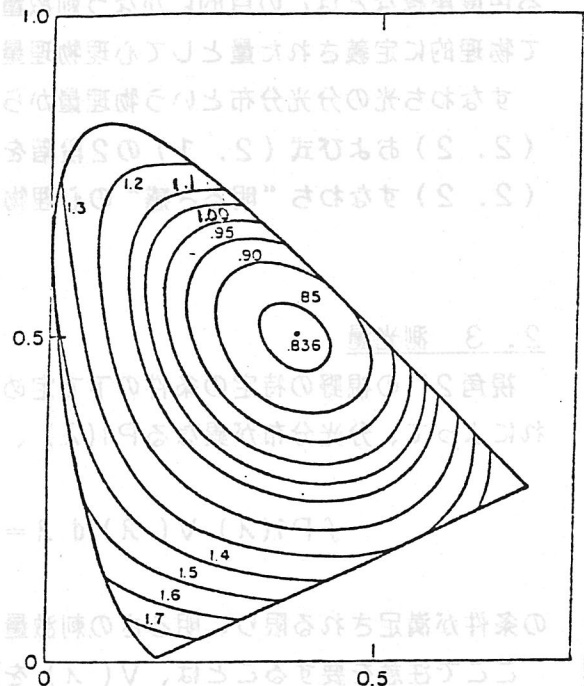


図 2.1 Ware-Cowanの整理による等B/L比軌跡

性の改善では、全光束の低下を伴い、高効率を追及する照明実用の場ではそれ程には普及せず、照明の効率と色の質とのバランスが問題にされるようになった。

このような中で多くの研究が行われたが(3章参照)、Aston⁽³⁾ら(1969)、Bellchambers⁽⁵⁾ら(1972)、Boyce⁽⁶⁾ら(1975)は色と演色性が異なる数種類のランプで模型の部屋を照明して、同等の満足感を与える照度の相互関係を求めた。これによると、高演色ランプの下では普通形ランプに対して25%程度低い照度で同等の満足感が得られるという結果になって、彼らはその判断基準になった属性を“visual clarity”と表現した。この考え方はCIEのTC-3.2演色技術委員会(現TC1-12の前身)でも論じられて、新しいCIE用語候補として検討もされたが採用するには至らなかった。

いずれにしても、照明光の演色性による明るさ感、満足感または明瞭さの感覚量そのものの数量化ではなく、これらが等価になる照度の比で表わされた。これは上述のヘルムホルツ-コールラウシュ効果の表現の場合と同様である。

2.6 3波長域発光形蛍光ランプによる明るさ感とその表現の問題点

以上は主に3波長域発光形蛍光ランプが実現される以前についての経過であるが、visual clarityが問題にされていた頃、欧州と米国とで独立に3波長域発光形蛍光ランプの原理的研究と開発が進められていた。欧州の研究では測光、測色学的な立場からランプ効率と演色評価数の組合せの最適化が図られた。米国ではそれに加えて、3波長域発光形蛍光ランプでは測光量で予測される以上に明るさ(Brightness)が上って見えることが着目され、現在の測光測色システムでは説明できないものとしてprime colorと称する理論が提案された。この新説には反論が多く、学会で一般に受け入れられるところに至っていない。

わが国では欧州タイプの3波長域発光形蛍光ランプが実用化され、順次に国内各メーカーがそれを製品化した。この種のランプは平均演色評価数Raは高演色形ランプに匹敵し、しかも効率でも普通形の白色蛍光ランプと同等かそれ以上の性能を持っていた。このためこれを白色蛍光ランプと一対一で交換したときに誰が見ても明るくクリアになるように感じられる。しかもRaが同等の従来の高演色形ランプの等照度よりも明るく感じられる。

このような3波長域発光形蛍光ランプの特徴的な性質はわが国では“明るさ感”を増す効果としてとらえられて、その効果を数量的表現することにわが国のランプメーカーは欧米以上に熱心さを示した。それにはわが国における蛍光ランプの普及状況も関係があったと考えられる。

ここで“明るさ感”という語が用いられたのには2つの観点がある。その一つは、消費者への説明を分かりやすくするために測光量である全光束について既に“明るさ”という表現を用いているので、それと区別するために“感”をつけたものである。すなわち英語でbrightnessで輝度を表わしていたときに心理量をsubjective brightnessで表わしたのと同じ発想である。もう一つは“明るさ”で心理量としてのbrightnessを表わすことは承知の上で、ランプによって照明した雰囲気全体の明るさという、もう一段総合的な概念を

“明るさ感”で表わそうとしたものである。しかし数値として用いられたものは、常に式(2.2)の刺激量の範囲のものであった。

ともかく、3波長形蛍光ランプの“明るさ感”は、学会での検討に先行して業界の宣伝の場で使われるようになった。そこで互いに類似してはいるが根拠が異なる数値が競わたり、また明るさの感覚量が数十パーセントも上るように誤解される表現もあらわれてきた。

2.7 日本電球工業会の動き

上記のようにJIS規格にも学会基準等にも規定されていない“明るさ感”の用語やその数値が宣伝文章に用いられるような状況を危惧した(社)日本電球工業会では昭和57年9月に(社)照明学会に“明るさ感”の定義付けおよび数量化についての検討依頼を出した。日本電球工業会ではそれと同時に業界として当面の統一对応を図るために同会内に同会員会社5名と事務局で構成する『明るさ感』委員会を同年10月に発足した。

同委員会では、昭和57年10月から58年2月まで6回の委員会を開催し、各メーカーの実験データと文献調査結果を持ちよって審議し、工業会としての明るさ感表示方法指針案の作成を計画した。その指針案の中では明るさ感は感覚量そのものではなく、それが等価になる照度比で表示すること、従ってその数値でもって明るさ感〇〇倍などとは表現しないことなどが合意されていた。しかしその等価照度比の数量表現について合意できなかったため指針案の作成は断念して、『蛍光ランプの明るさ感の表示方法に関する合意書』として技術的な観点から同委員会で合意した事項および合意できなかった事項の要点をまとめて日本電球工業会長に報告して解散した。

第3章 海外における実験研究

3.1 光源の色温度と快適な照度の関係

3.1.1 Kruithofの実験

この種の問題を最初に研究的に取り扱ったのは、オランダのKruithof (1941)である。Kruithofはその結果を光源の色温度に対して快適な雰囲気を得ることのできる照度の上限・下限を示す曲線として表わした。図3.1にこれを示す。

しかし、Kruithofの実験には色温度と同時に演色性や光の拡散性の異なる光源が用いられているうえ、上限の曲線の色温度の高い部分は、“色温度約5000Kの自然光は数万ルクスでも決して不快なほど明

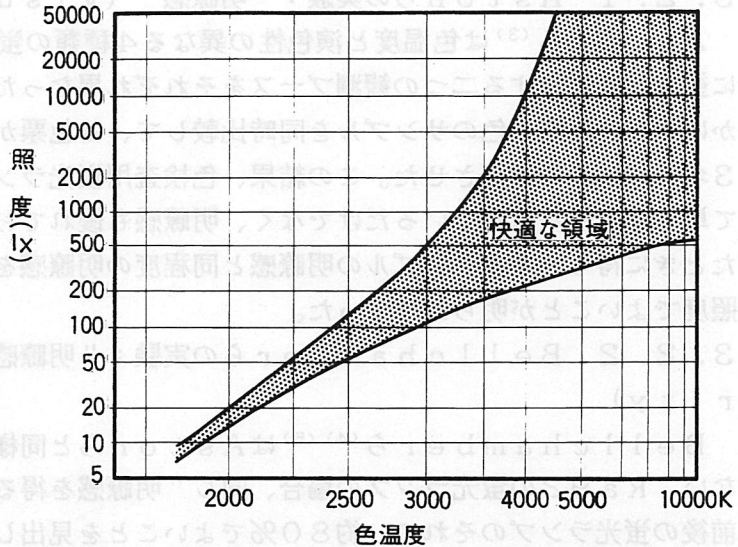


図3.1 Kruithofの実験結果

るすぎない”という経験に基づいて外挿して得たものであるため、この実験の結果を単純に図3.1のような色温度と“快適な雰囲気を得ることのできる照度”との関係として示すことができるかどうかということについては疑問である。たとえば、同じ数1000ルクスの照度が与えられていても、拡散性の強い曇天のもとでは“非常に暗い”感じがし、決して快くないのに対して、陰影の強い室内の照明のもとでは“非常に明るい”感じがすることが多いように、実験に使用された光の拡散性の差も“快適な照度”に影響している可能性があるからである。

3.1.2 Bodmannらの実験

Bodmannら(1963), Voit (1967)は、実際の会議室で、異なる各種の蛍光ランプを用い、色温度を2800Kから7400Kの範囲を8段階に変え、その照度を300ルクスから4000ルクスまでの5段階に分けて、観測者にその室内の雰囲気の観察を行なわせ、『事務作業を行なう場合の机上照度』としての好ましいと考えられる範囲を求める実験を行なった。この結果、“好ましいと考えられる照度範囲”と色温度の間には強い相関性はないことが明らかになった。また、同じ実験で演色性の異なる蛍光ランプについても比較観察をしたが、“好まれる照度範囲”と演色性との間に強い関連性は見出せなかった。ただし、Bodmannらの実験では、観測者に使用した蛍光ランプの色温度が知られていたことによって、過去の経験または知識による影響があるうること、および観測者の視野方向が限定されていなかったため、室内を見渡した可能性があり、これらの要因が結果に影響を与えていることが考えられる。

3.1.3 Schrod erらの実験

Schrod erら(1974)はBodmannなどと類似の実験を行ない、"好まれる照度範囲"の値と光源の色温度との間に対して一貫性のある関連がないことを見いだした。

3.2 光源の演色性と明るさ感

3.2.1 Astonらの実験："明瞭感" (visual clarity)

Astonら⁽³⁾は色温度と演色性の異なる4種類の蛍光ランプを用いて、内部をN8に塗装した隣接する二つの観測ブースをそれぞれ異なったランプで照明し、それぞれのなかにおかれた同じ色のサンプルを同時比較して、各色票から受ける色彩の"明瞭感"を33名の観察者に評価させた。この結果、色検査用蛍光ランプは、普通形蛍光ランプに比べて単に演色性が優れているだけでなく、明瞭感も優れており、普通形蛍光ランプで照明したときに得られる色サンプルの明瞭感と同程度の明瞭感を得るのに、約25~40%低い照度でよいことが明らかになった。

3.2.2 Bellchamberらの実験："明瞭感" (visual clarity)

Bellchamberら⁽⁴⁾⁽⁵⁾はAstonらと同様な実験を実物の部屋について行ない、Ra92の蛍光ランプの場合、同じ"明瞭感を得ることのできる照度"がRa60前後の蛍光ランプのその、約80%でよいことを見出した。

3.2.3 Boyceの実験："満足感" (satisfaction)

Boyce⁽⁶⁾は事務室の縮尺モデルを用いて、同じ"満足感を得ることのできる照度"を各種蛍光ランプについて比較し、Ra90以上の蛍光ランプは、Ra60前後の蛍光ランプの約75%でよいことを明らかにするとともに、1960CIE-UCS色度図上でCIEの平均演色評価数を求める際に使用する8種類の平均演色評価用試験色の色度点を結んだ八角形の面積が"満足感"との間に一定の関係があることをみいだした。

3.2.4 Lemonsらの実験："明瞭感" (visual clarity)

Lemonsら(1976)は所要照度レベルと平均演色評価数および色温度の関係を求めるために、色温度が2700Kから7000K、平均演色評価数が67から94までの範囲にある14種類のけい光ランプを用いて実験を行なった。実験に使用した2つの実験ボックス(幅122cm、奥行61cm、高さ71cm、開口部の大きさは122cm×46cm)の内部はいずれも白色仕上げで、ボックス内には視力表、カラーポスタ、試験色票、各種果物の模造品、ドライフラワを置いた。観察者を二つの実験のボックス内が同時に観察できる位置に座らせ、あらかじめ設定された実験ボックス1の照度レベルに対して、ほぼ等しい明るさ感が得られる実験ボックス2と照度レベルを、実験者が次々と設定する7段階の照度レベルのなかから回答させた。その結果、けい光ランプ間では、平均演色評価数が低いか、もしくは色温度が高いかのいずれかのけい光ランプの方が、同じ明るさ感を得るのに、他方のけい光ランプのそれより照度レベルを増加させる必要があることを明らかにした。

3.2.5 Thorntonらの実験：“明瞭感” (visual clarity)

Thorntonら⁽²¹⁾は、7.2m×1.2m×0.75mの大きさを有する、隣接した二つの光源ボックスを用い、内部にカーテン、織物など種々の有彩色物体を配置し、明瞭感の実験を行なった。照明光源は、三波長域発光形蛍光ランプ (Ra 82) と普通形蛍光ランプ (Ra 66) などそれぞれを1:2、2:1に混光したランプ計4種類を用い、これら4種類のランプの組合せ16通りについて実験を行なった。その結果、たとえば、三波長域発光形蛍光ランプを用いた場合、普通形蛍光ランプを用いた場合に比べ、同じ明瞭感を得るには約30~40%低くてよいことを明らかにした。

3.3 従来の研究のまとめ

以上の研究の結果によると、Kruithofの実験を除いては、同じ“明るさ感” (または“快適な感じ”) を与える照度に対する光源の色温度による影響は顕著ではない。また今回検討した限りでは、演色性の影響について、初めに述べたような意味での“明るさ感”について、直接関連する実験は報告されていない。しかし“明るさ感”とはなんらかの関連があると思われる“明瞭感”“満足感”についてはかなり有意な影響があるという結果がえられている。

| 記号 | ランプの種類 | 色 度 | | 色 温 [K] | 演 色 性 | | | | | | | | | | |
|----|--------|--------|--------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|-----|-----|
| | | x | y | | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | R ₅ | R ₆ | R ₇ | R ₈ | | | |
| A | D-2DL | 0.3076 | 0.3130 | 6882 | 94 | 89 | 86 | 82 | 79 | 76 | 73 | 70 | 67 | 64 | 61 |
| B | EDL-12 | 0.3628 | 0.3880 | 4367 | 98 | 88 | 88 | 84 | 81 | 78 | 75 | 72 | 69 | 66 | 63 |
| C | EDL-27 | 0.4629 | 0.4101 | 2622 | 94 | 81 | 82 | 81 | 80 | 78 | 75 | 72 | 69 | 66 | 63 |
| D | D | 0.3146 | 0.3488 | 6290 | 73 | 69 | 68 | 63 | 60 | 57 | 54 | 51 | 48 | 45 | 42 |
| E | W | 0.3782 | 0.3821 | 4111 | 63 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| F | WM-2E | 0.4384 | 0.4304 | 3104 | 81 | 48 | 57 | 32 | 19 | 24 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| G | EX | 0.3428 | 0.3230 | 4694 | 83 | 41 | 44 | 69 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 |

4. 1 湯尻委員（広島工業大学）による実験

照明条件が室内の視環境にどのような影響をおよぼすかを検討するために、セマンティック・ディファレンシャル法を応用して視環境評価をおこなった。ここでは、その結果から演色性と明るさ感について報告する。

4. 1. 1 実験装置

実験装置は、図1に示すように幅 3.6m、奥行 3.6m、高さ 2.4mの大きさの部屋を用いた。部屋の中には観察者から直接見える範囲内に濃茶のテーブル、黒のソファ、テレビ、テレビの上に青色の布地、緑色や赤色の観葉植物、風景画の入っている額縁、そして、前面の壁に茶系統の縞模様のカーテンを吊るした。



図4. 1. 1 実験装置

光源は、天井中央にある縦・横90cmの乳白カバーの裏側に設置し、点灯数および発光面積を調整できるようにした。

4. 1. 2 ランプ仕様

光源は色温度、演色評価数の異なる蛍光ランプを7種類使用した。表4. 1. 1にその照明特性を示す。

表4. 1. 1 蛍光ランプの種類とその照明特性

| 記号 | ランプの種類 | 色 度 | | 色温度 (K) | 演 色 評 価 数 | | | | | | | |
|----|--------|--------|--------|------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | x | y | | R _a | R ₉ | R ₁₀ | R ₁₁ | R ₁₂ | R ₁₃ | R ₁₄ | R ₁₅ |
| A | D-SDL | 0.3076 | 0.3190 | 6895 | 94 | 93 | 86 | 95 | 91 | 96 | 94 | 97 |
| B | EDL-42 | 0.3658 | 0.3680 | 4367 | 95 | 86 | 88 | 94 | 91 | 96 | 95 | 96 |
| C | EDL-27 | 0.4629 | 0.4101 | 2655 | 94 | 91 | 85 | 91 | 86 | 95 | 93 | 97 |
| D | D | 0.3146 | 0.3489 | 6290 | 73 | -69 | 53 | 62 | 69 | 67 | 96 | 52 |
| E | W | 0.3795 | 0.3891 | 4111 | 62 | -100 | 40 | 40 | 48 | 57 | 96 | 41 |
| F | WW-SF | 0.4384 | 0.4204 | 3104 | 61 | -48 | 27 | 32 | 19 | 54 | 90 | 50 |
| G | EX | 0.3459 | 0.3590 | 4994 | 83 | 41 | 44 | 69 | 53 | 93 | 67 | 97 |

4. 1. 3 照度条件

照度条件としては、表4. 1. 2、表4. 1. 3に示すように床面の平均照度を実験1では20～500 [lx]、実験2では20～600 [lx]の範囲でそれぞれ6段階変化させた。

表4.1.2 照明条件の提示順序 (実験1)

| 実験番号 | 記号 | 照度 (lx) | 実験番号 | 記号 | 照度 (lx) |
|------|----|---------|------|----|---------|
| 1 | C | 80 | 25 | G | 160 |
| 2 | | 300 | 26 | | 500 |
| 3 | | 40 | 27 | | 40 |
| 4 | | 500 | 28 | | 300 |
| 5 | | 20 | 29 | | 80 |
| 6 | | 160 | 30 | | 20 |
| 7 | B | 80 | 31 | A | 80 |
| 8 | | 300 | 32 | | 300 |
| 9 | | 40 | 33 | | 40 |
| 10 | | 500 | 34 | | 500 |
| 11 | | 20 | 35 | | 20 |
| 12 | | 160 | 36 | | 160 |
| 13 | F | 80 | 37 | D | 40 |
| 14 | | 300 | 38 | | 300 |
| 15 | | 40 | 39 | | 20 |
| 16 | | 160 | 40 | | 160 |
| 17 | | 500 | 41 | | 80 |
| 18 | | 20 | 42 | | 500 |
| 19 | E | 40 | | | |
| 20 | | 160 | | | |
| 21 | | 500 | | | |
| 22 | | 80 | | | |
| 23 | | 20 | | | |
| 24 | | 300 | | | |

表4.1.3 照明条件の提示順序 (実験2)

| 実験番号 | 記号 | 照度 (lx) |
|------|----|---------|
| 1 | E | 80 |
| 2 | G | |
| 3 | B | |
| 4 | D | |
| 5 | A | |
| 6 | F | |
| 7 | C | |
| 8 | " | 20 |
| 14 | | |
| 15 | " | 300 |
| 21 | | |
| 22 | " | 600 |
| 28 | | |
| 29 | " | 160 |
| 35 | | |
| 36 | " | 40 |
| 42 | | |

4.1.4 観察条件

実験手続として観察者は実験室に入室し、室内のソファに正面に向かって座り実験番号1のもとで10分以上順応した後、室内のふん囲気について主観評価した。

評価方法として、観察者はソファに座った状態で観察者から直接見える範囲内は自由に観察し、その印象をセマンティック・ディファレンシャル法によって7段階(実験2は9段階)評価した。その場合の評定尺度は予備実験より41項目(実験2は36項目)の形容詞対を選定した。従って、観察者に対しては評価させるとき、明るさ感についての意識はさせていない。ただ、本報告での結果の処理は、委員会の目的である明るさ感を取扱うため、“明るい-暗い”の尺度のみおこなう。以下、同様にして図4.1.2に示すような実験手順によって実験1の場合は表4.1.2に示すように同じ種類のランプで照度を変化させ、実験2では表4.1.3に示すように同じ照度でランプの種類を変えて評価させた。但し、一度に長時間の実験をおこなうと疲労が伴うので3日間に分けておこない、日が変わった場合、実験室に入室後の順応時間は最初と同じように10分以上とした。

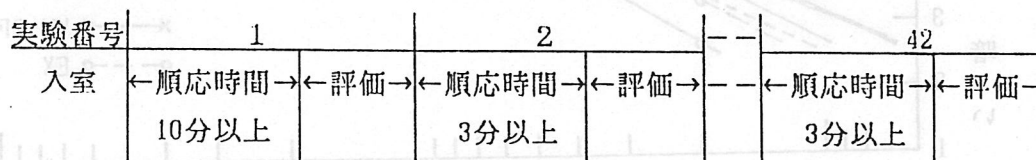


図4.1.2 実験手順

4. 1. 5 観察者

観察者の構成は、21～23才の正常色覚な男子学生11名であり全員このような実験に対して未経験である。

4. 1. 6 結果

結果の処理は次のようにしておこなった。

(1) 回帰分析によって実験照度に対する明るさ感（明るい—暗いの尺度）の回帰式を求め、その回帰式によって、実験照度に対する明るさ感の推定値を算出した。その結果を図4. 1. 3、図4. 1. 4に示す。

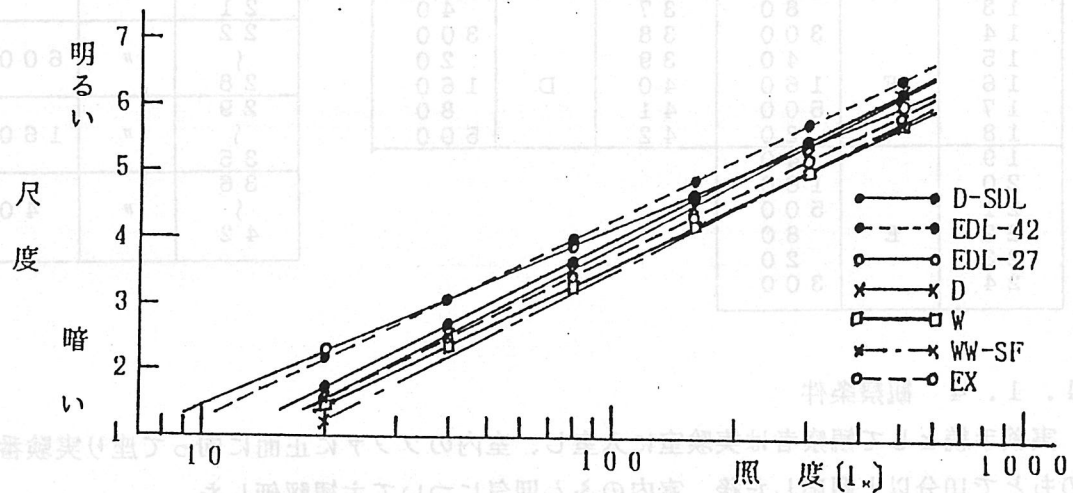


図4. 1. 3 照度に対する明るさ感の推定値 (実験1)

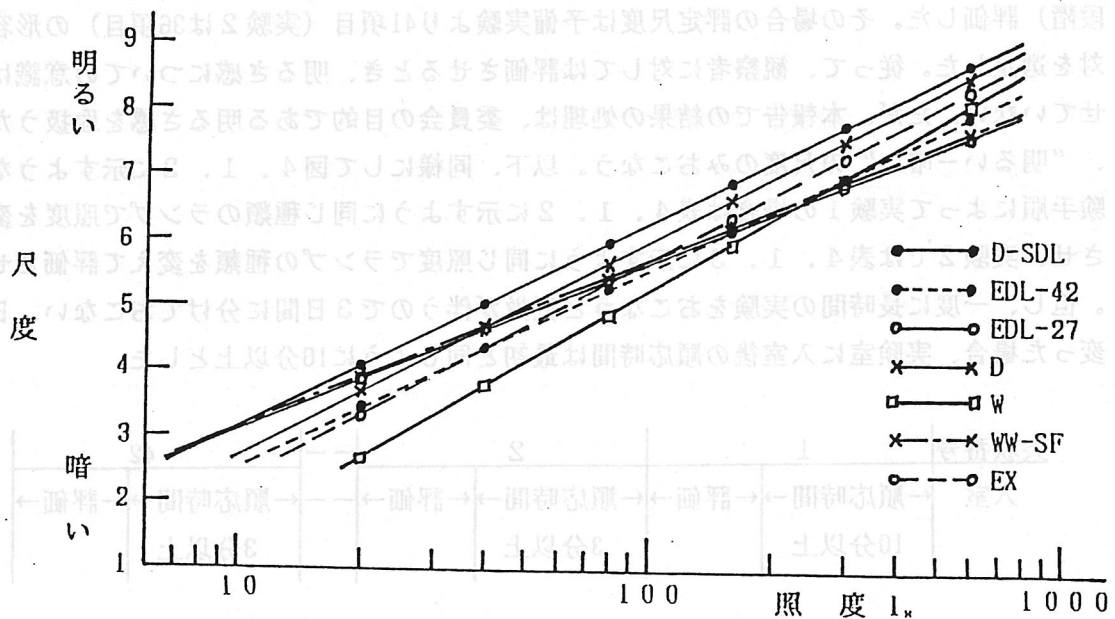


図4. 1. 4 照度に対する明るさ感の推定値 (実験2)

(2) 図4.1.3、図4.1.4の結果より、等明るさ感照度比 r_e を下式によって求めた。その結果を表4.1.4にランプ別に各照度の平均値で示す。

表4.1.4 各ランプの等明るさ感照度比

$$r_e = \frac{\text{試料ランプと同じ明るさを感じられる白色蛍光ランプの照度}}{\text{試料ランプの照度}}$$

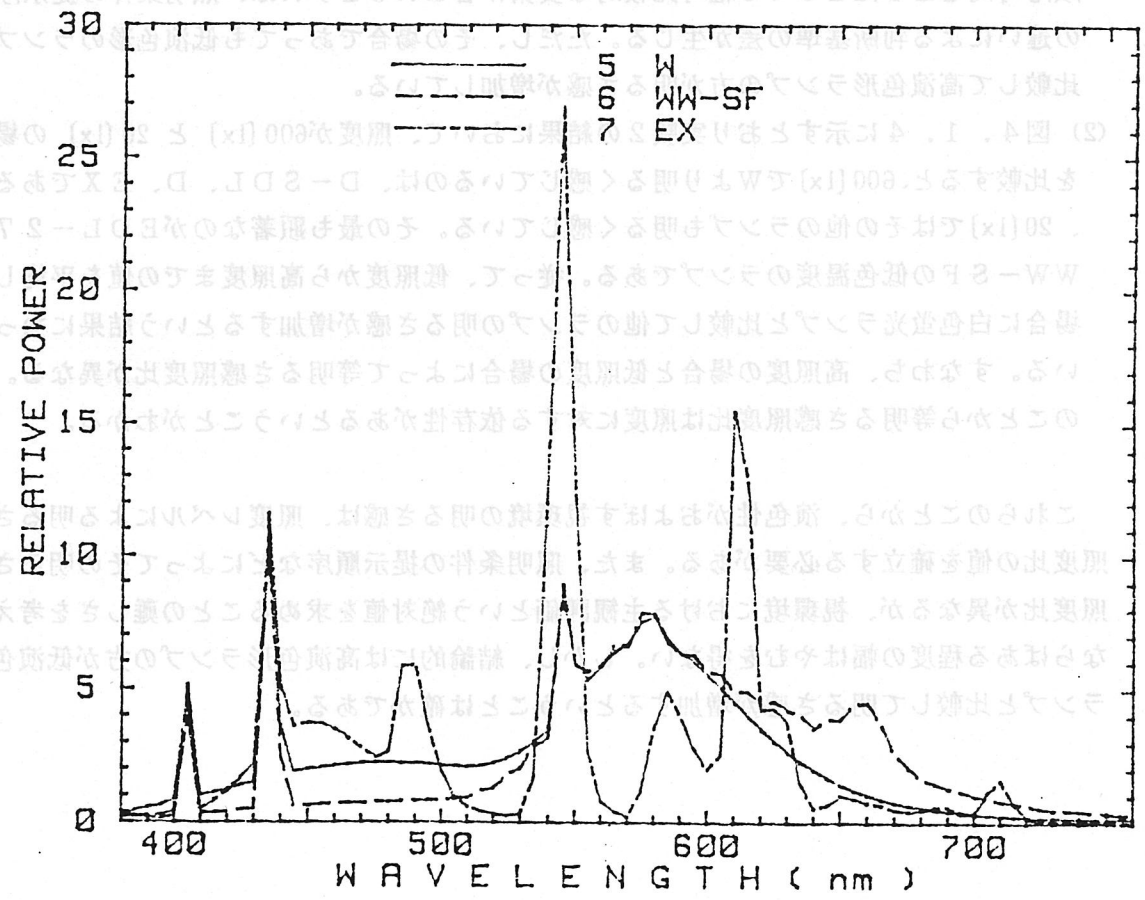
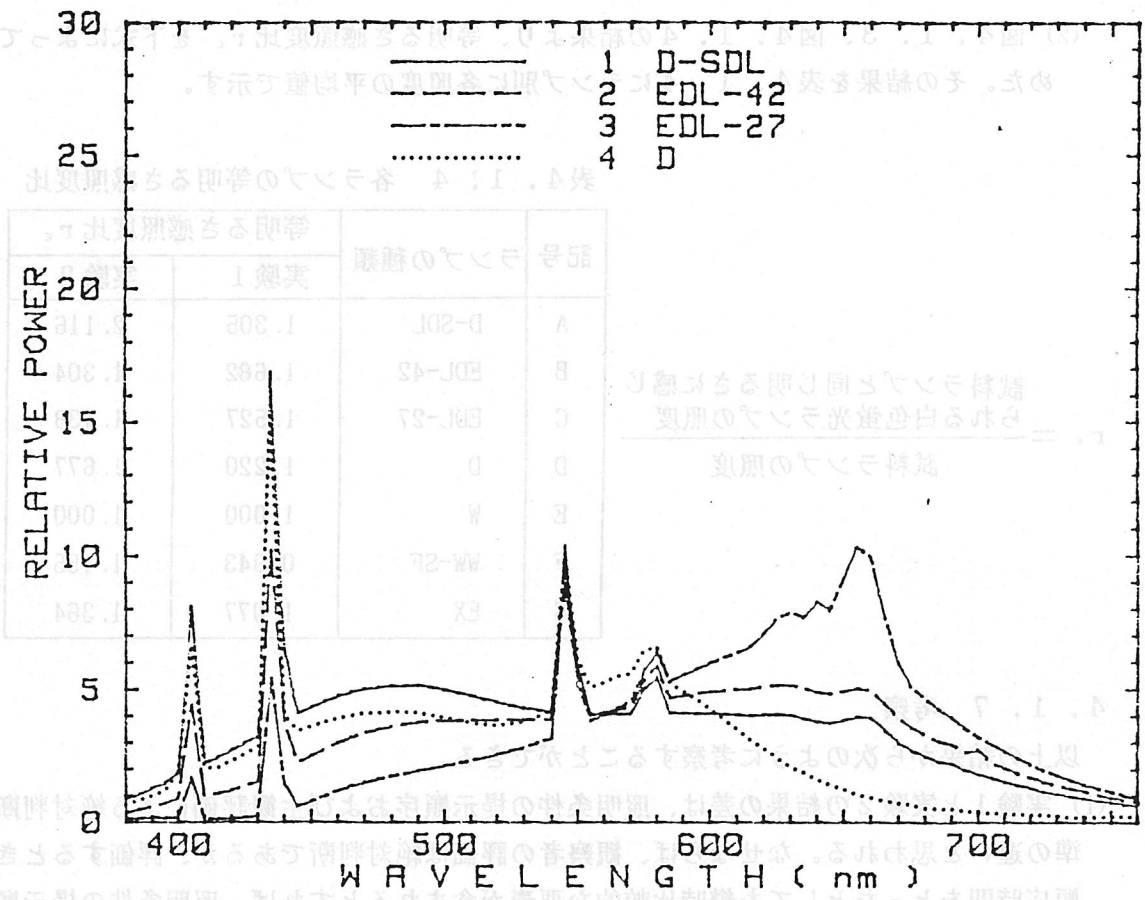
| 記号 | ランプの種類 | 等明るさ感照度比 r_e | |
|----|--------|----------------|-------|
| | | 実験1 | 実験2 |
| A | D-SDL | 1.305 | 2.116 |
| B | EDL-42 | 1.682 | 1.304 |
| C | EDL-27 | 1.527 | 1.438 |
| D | D | 1.220 | 1.677 |
| E | W | 1.000 | 1.000 |
| F | WW-SF | 0.943 | 1.455 |
| G | EX | 1.077 | 1.364 |

4.1.7 考察

以上の結果から次のように考察することができる。

- (1) 実験1と実験2の結果の差は、照明条件の提示順序および主観評価による絶対判断基準の違いと思われる。なぜならば、観察者の評価は絶対判断であるが、評価するときに応答時間をとったとしても継時比較的な要素が含まれるとすれば、照明条件の提示順序の違いによる判断基準の差が生じる。ただし、その場合であっても低演色形のランプと比較して高演色形ランプの方が明るさ感が増加している。
- (2) 図4.1.4に示すとおり実験2の結果において、照度が600 [lx] と 20 [lx] の場合を比較すると、600 [lx] でWより明るく感じているのは、D-SDL、D、EXであるが、20 [lx] ではその他のランプも明るく感じている。その最も顕著なのがEDL-27とWW-SFの低色温度のランプである。従って、低照度から高照度までの値を平均した場合に白色蛍光ランプと比較して他のランプの明るさ感が増加するという結果になっている。すなわち、高照度の場合と低照度の場合によって等明るさ感照度比が異なる。このことから等明るさ感照度比は照度に対する依存性があるということがわかる。

これらのことから、演色性がおよぼす視環境の明るさ感は、照度レベルによる明るさ感照度比の値を確立する必要がある。また、照明条件の提示順序などによってその明るさ感照度比が異なるが、視環境における主観評価という絶対値を求めることの難しさを考えるならばある程度の幅はやむを得ない。しかし、結論的には高演色形ランプの方が低演色形ランプと比較して明るさ感が増加することは確かである。



4. 2 東芝における明るさ感等価照度の実験

4. 2. 1 実験条件と結果の総括

東芝では、3波長発光形蛍光ランプの普通形白色蛍光ランプに対する等明るさ感照度比を求める実験を、他の比較用ランプとも合せて、大別して3種類、小区分し7種類の実験条件で行なった。表4. 2. 1にその実験条件の大要、及び昼白色（5000K）3波長形ランプの白色（4200K）ランプに対する明るさ感等価照度比の平均結果を一覧表として示す。主実験（実験2）に用いた蛍光ランプの相対分光分布を図4. 2. 1に、演色性関連の諸量を表4. 2. 2に示す。

表4. 2. 1 東芝の明るさ感等価照度比の実験条件一覧表

| 分類文献 | 比較条件 | 試験色 | 基準照明 | テスト照明 | 判定対象 | 観察者 | 3波長形等価照度比 |
|-------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------|-----------|----------------------|
| A (25) 津田他 | 2ブース併置 カテゴリー 判定 | 各種物体 色票 | FL-W 300lx | 3波長形 高演色FL 170~300lx 4段 | ブース全体 の明るさ | 男7 女3 | 1/0.75 (対W) |
| B1 (32) 浜田他 | 2室継時順応 カテゴリー 判定 | 各種物体 布地 人物 | FL-W 1200lx | 3波長形、色評価 用、FL-D 660~1420lx 5段 | 室中央部全 般の明るさ | 男21 女7 | 1/0.73 (対W) |
| B2 (32) 浜田他 | 同上 | 無彩色物 体、布地 人物 | 同上 | 同上 | 同上 | 男13 女5 | 1/0.76 (対W) |
| B3 | 同上 | 各種物体 布地 人物 | 同上 | 3波長形のみ 680~1000lx 3段 | 同上 | 男11 | 1/0.72 (対W) |
| B4 (40) 秋山他 | 同上 | 同上 | 同上 | 電球色3波長 3波長、電球 680~1440lx 5段 | 同上 | 男22 女7 | 1/0.79 (対W) |
| C1 (35) 森他 | 2ブース併置 等色照明カラ ーマッチ | N6色紙 | W+D又 はR+G +B混光 | 3波長形、色評価 用、D+W | N6色紙の 色と明るさ | 男6 | 1/0.99 (対 W+D) |
| C2 (35) 森他 | 2ブース併置 等色照明明る さマッチ | 多色モザ イクパタ ーン | 同上 | 同上 | モザイクパ ターンの平 均的明るさ | 同上 | 1/0.85 (同上) |

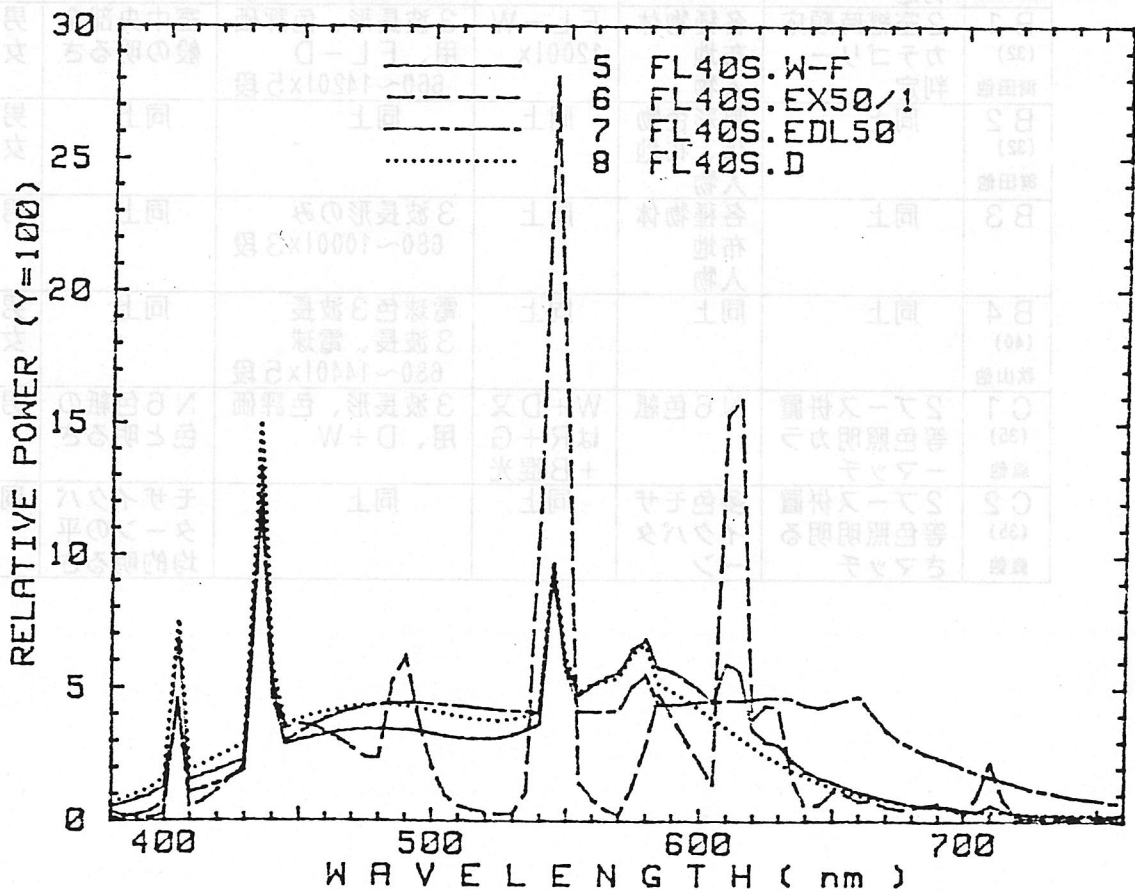
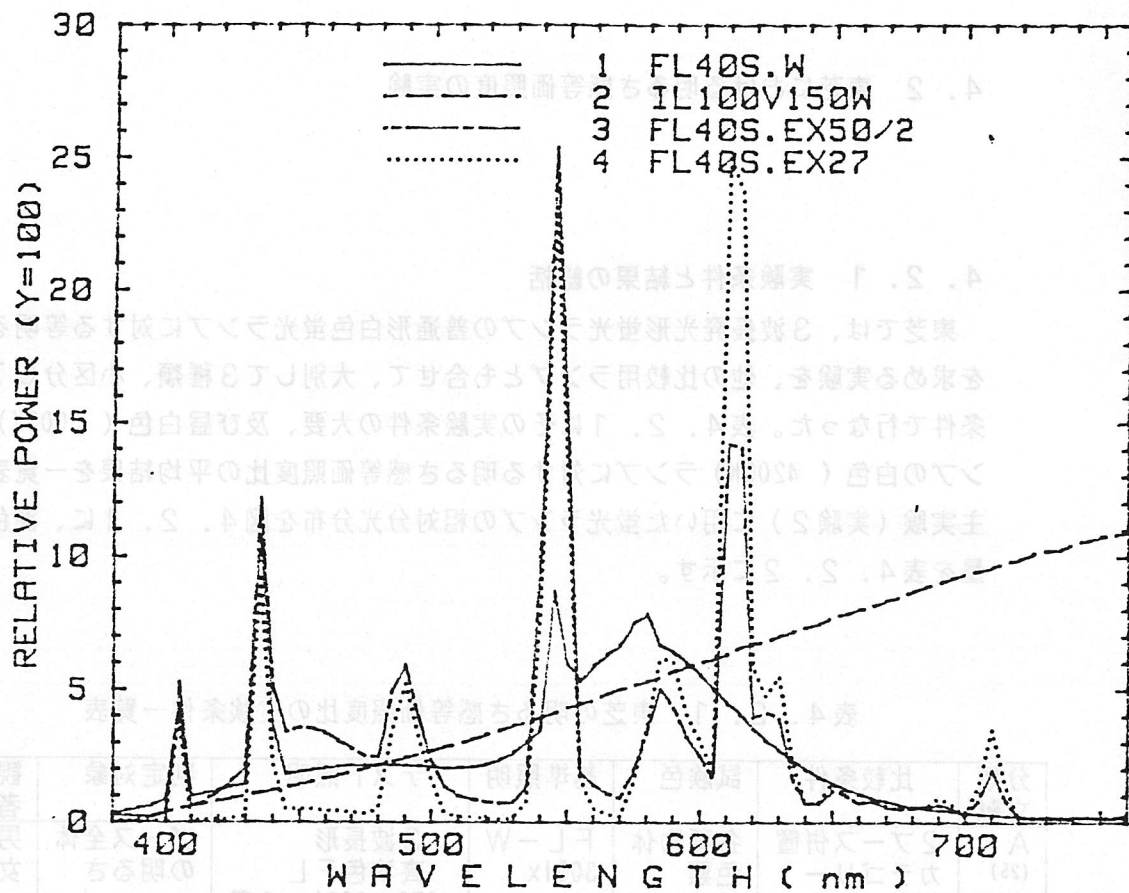


図4. 2. 1 実験に用いた蛍光ランプの相対分光分布

表4. 2. 1の実験は、いずれも照明された個々の物体色の明暗を評価したものではなく、物体色の集合又は全体の雰囲気の明るさを評価したものである。ただし実験Aは併置した2個の照明ブースを外部から眺めて同時比較したのに対し、実験Bでは室内に入って順応した状態で継時記憶比較をしている点に相違がある。また実験A、B共に明暗感の差をカテゴリー判断したのに対して実験Cでは色のモザイクパターンの全体の明るさ感を調整法でマッチングしている。さらに、実験Bには大部分の視対象を無彩色とした場合も実験し、実験Cではモザイクパターンの代わりに灰色色紙を用いた参照実験も行った。

このように実験条件を広範囲に変えたにもかかわらず、実験A、Bでは灰色物体色の室内（ただし観測者自身の膚色、衣服は規制しなかった）の場合まで含めて、3波長形蛍光灯ランプ（5000K）照明の白色普通形ランプ照明に対する等明るさ感照度比が1/0.72～1/0.79と有意差のない範囲の結果になったことは注目される。実験Cにおいて差があったことは別に考察する。

表4. 2. 2 東芝実験B用試験ランプの演色評価数（CIE 1, 2版）

| LAMP | Ed. Int. | x Tcp | y Duv | REF. ILLUM. | Ra | Ri | | | | | | | | |
|--------------|-----------|----------|----------|----------------|------|------|----|----|----|----|-----|----|--|--|
| | | | | | | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | | |
| FL40S.W | 1 Ed. 5nm | .3814 | .3906 | P-4100 | 62.8 | -99 | 38 | 40 | 47 | 56 | 95 | 42 | | |
| | 2 Edition | 4073K | .0061 | | 58.8 | -104 | 34 | 37 | 40 | 53 | 93 | 39 | | |
| IL100V150W | 1 Ed. 5nm | .4525 | .4113 | F-2800 | 98.8 | 97 | 97 | 99 | 98 | 99 | 99 | 99 | | |
| | 2 Edition | 2812K | .0009 | | 99.0 | 96 | 99 | 98 | 98 | 99 | 100 | 98 | | |
| FL40S.EX50/2 | 1 Ed. 5nm | .3493 | .3594 | P-4900 | 84.4 | 36 | 47 | 70 | 56 | 94 | 70 | 97 | | |
| | 2 Edition | 4873K | .0022 | | 82.2 | 34 | 45 | 69 | 54 | 94 | 70 | 96 | | |
| FL40S.EX27 | 1 Ed. 5nm | .4593 | .4100 | P-2700 | 85.7 | -2 | 62 | 82 | 61 | 92 | 70 | 91 | | |
| | 2 Edition | 2703K | -.0002 | | 85.1 | -2 | 62 | 82 | 61 | 92 | 70 | 91 | | |
| FL40S.W-F | 1 Ed. 5nm | .3462 | .3540 | P-5000 | 75.0 | -49 | 59 | 63 | 69 | 72 | 95 | 61 | | |
| | 2 Edition | 4967K | .0007 | | 73.7 | -49 | 57 | 63 | 68 | 71 | 95 | 60 | | |
| FL40S.EX50/1 | 1 Ed. 5nm | .3501 | .3581 | P-4800 | 83.6 | 47 | 44 | 69 | 52 | 95 | 65 | 97 | | |
| | 2 Edition | 4840K | .0013 | | 82.6 | 46 | 43 | 68 | 52 | 95 | 65 | 97 | | |
| FL40S.EDL50 | 1 Ed. 5nm | .3392 | .3503 | P-5200 | 96.5 | 91 | 90 | 95 | 93 | 96 | 96 | 97 | | |
| | 2 Edition | 5228K | .0017 | | 95.8 | 89 | 90 | 94 | 92 | 96 | 96 | 96 | | |
| FL40S.D | 1 Ed. 5nm | .3099 | .3405 | D-6500 | 75.4 | -59 | 57 | 65 | 72 | 70 | 96 | 55 | | |
| | 2 Edition | 6565K | .0104 | | 72.1 | -65 | 54 | 62 | 69 | 68 | 94 | 54 | | |

以下各実験について表4. 2. 1の条件を補足説明する。

4. 2. 2 実験A：併置ブースの同時比較

全実験の中では予備実験の役を果たした小規模実験で、条件は次による。

- (1) 視野：65x65x65cm³の照明ブースを暗室内で2台を目の高さに併置して、約1.5mの位置から2台を同時に比較観察した。
- (2) 対象物体色：ブース内底面は灰みの黄色（黄土色）のじゅうたん地、壁面は白色塗料仕上げ、底面に観葉植物、花、果物、布地（各色相）、白色磁器皿、ガラスコップ

ブ等を配置し背壁面には演色評価用試験色（照明学会）を立てかけた。

- (3) 基準照明：白色蛍光ランプ（FL20S.W）の本数と部分遮蔽によって 300lxの一定照明。（実際の実験では高演色ランプを基準とした配置も行なったがここでは省略する。）
- (4) 試験照明：3波長形蛍光ランプ（FL20S.WDL-E ……図4. 2. 1のEX50/1に相当）、または高演色形蛍光ランプ（FL20W-DLX）を調光器点灯し、300, 250, 210, 170lxの4段階に無作為順に呈示した。
- (5) 評価事項：評価用紙には、非常に明るい(+3)、かなり明るい(+2)、やや明るい(+1)、等しい(0)、やや暗い(-1)、かなり暗い(-2)、非常に暗い(-3)、の尺度が印刷してあって、被験者には基準側ブースと比較した試験側ブースの全体の明るさの感じを記入するよう依頼した。観察者は3～4名づつ同時に観察した。
- (6) 観察者：色覚正常者。一对の比較に10名（男 7、女 3）。目的内容を知った研究者は原則として含めていない。
- (7) 結果：10名の平均結果を図4. 2. 2に示す。

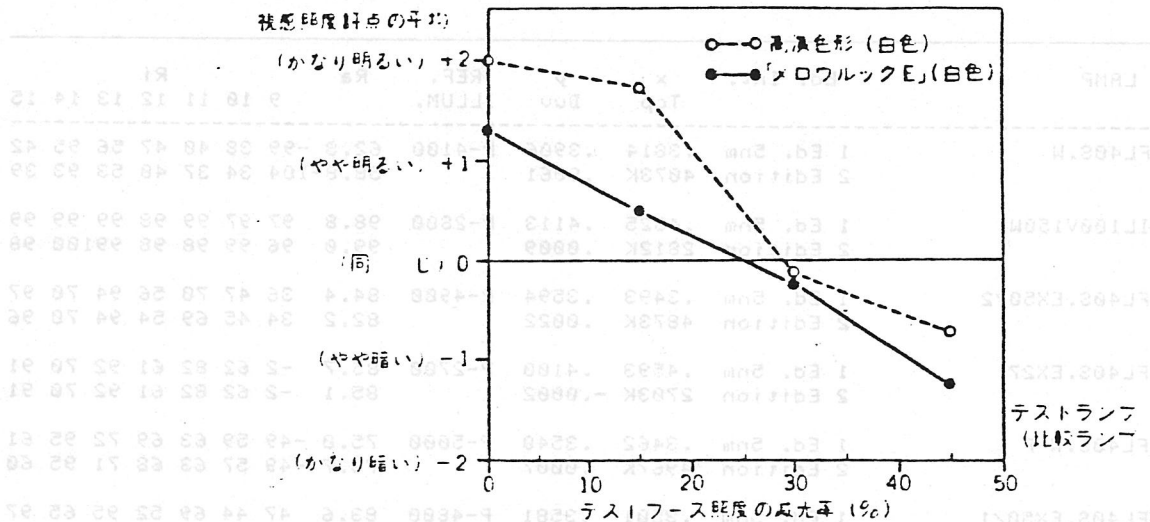


図4. 2. 2 3波長形蛍光ランプ、高演色蛍光ランプの明るさ感

4. 2. 3 実験B：2室内継時比較

4. 2. 3. 1 実験室および実験プロセス

実験Bに共通する実験室および実験プロセスについて記す。

- (1) 実験室形状：図4. 2. 3に示す 5.5m×5m、高さ3mをアコーディオンカーテンで2室に区分したもの。中央部で2室間の往復ができ、また入口側の各 2.75mもアコーディオンカーテンで開閉できる。
- (2) 室内仕上の色：床面は灰色格子タイルによる無彩色仕上。壁面はカーテンにより無彩色および黄赤（ベージュ）に可変。
- (3) 照明：なし地アルミ製の可変角ルーバによって蛍光ランプ、電球、HIDともに相

対分光分布をほぼ一定のまま調光可能。

- (4) 実験時の照明：一方の部屋を基準側とし、この実験ではすべて白色蛍光ランプで1200lx一定照度に保った。他を試験光側としランプの種類および照度を無作為順で変更した。
- (5) 実験プロセス：観察者は3～5名を1グループとし、観察を行なう時以外は間仕切りを閉じた基準側の白色ランプ照明下で休息する。試験側の設定完了後間仕切りを約1.3m開いて試験光側に入り、少しの時間を経てから比較評価を行なう。

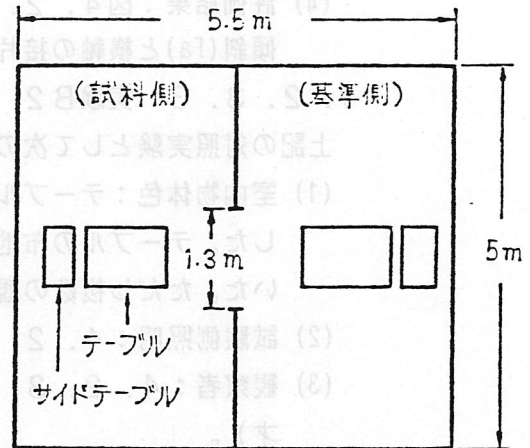


図4. 2. 3 実験室

- (6) 評価方法：図4. 2. 4の質問シートに基準側と比較した試験側の部屋の印象を記入する。ここでは“明るい”-“暗い”の記入結果だけに着目する。原則として各観察者は同一試験ランプ、同一照度には1回だけ評価した。

- この状態が条件1です。
Bの部屋はAの部屋に比べて

| | かなり | 少し | どちらか という | どちらとも いえない | どちらか という | 少し | かなり | |
|--------|-------|----|-------------|---------------|-------------|----|--------|--|
| 明るい | ----- | | | | | | 暗い | |
| はっきりした | ----- | | | | | | ぼんやりした | |
| 淡い | ----- | | | | | | はなやかな | |
| もやがかった | ----- | | | | | | すっきりした | |
| 刺激的な | ----- | | | | | | おだやかな | |

図4. 2. 4 明るさ感に関する主観評価実験用質問シート

4. 2. 3. 2 実験B1

有彩色条件下における第一主実験で次による。

- 室内物体色：図3の主テーブル（80cmx60cmx高70cm）の上全面に格子柄の布地（タータンチェック）を掛け、サイドテーブル上に観葉植物、果実模型等、高彩度の赤、黄、緑、青の布地を置き、壁面はベージュカーテンとした。両室は同一対象配置である。
- 試験側照明：図4. 2. 1、表4. 2. 2の蛍光ランプのうち、3波長形（EX50/1）、色評価用EDL形（EDL50）および昼光色（D）の3種類で各1420, 1200, 980, 810および660lxに設定した。
- 観察者：正常色覚の男21名（25～55才）、女7名（20～34才）。2割程度の研究関連者も含むが、提示ランプについては知らせていない。

(4) 評価結果：図4.2.5に有彩色条件として各試験ランプごとの評価回帰直線をその傾斜(F_a)と横軸の切片(明るさ感等価照度比)の差(F_0)の有意差検定結果を示す。

4.2.3.3 実験B2

上記の対照実験として次の無彩色条件を設定した。

(1) 室内物体色：テーブルはすべてN6の無彩色布地で全面をおおい、壁面はN9白とした。テーブルの布地上には若干の白黒印刷物、白陶磁器など無彩色物体のみを置いた。ただし複数の観察者が同室するので顔色、衣服等は観察者の目に入った。

(2) 試験側照明：4.2.3.2の(2)と同じ。

(3) 観察者：4.2.3.2の(3)の一部で、男13名(26~55才)、女5名(26~34才)。

(4) 評価結果：図4.2.5に無彩色条件として示す。有彩色条件との差は予想以上に小さかった。意識的に有彩色を並べなくても、人の顔が見えることは大きな効果を生じると考えられる。

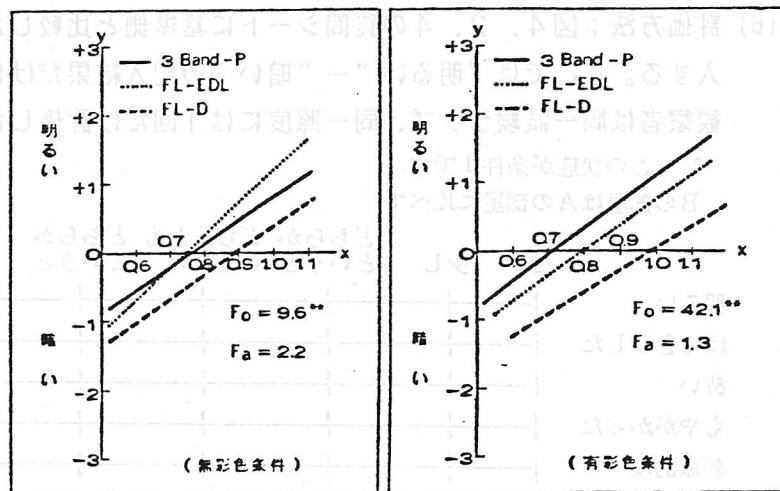


図4.2.5 明るさ感に関する主観評価
(横軸：FL-Wに対する照度比)

4.2.3.4 実験B3

特に企画した実験ではないが適当な社外来訪社を得た折に行った追試実験。

(1) 室内物体色：4.2.3.2の(1)と同じ。

(2) 試験側照明：3波長形ランプ(EX50/1)のみで、照度レベル1000, 840, 680lxの3段階として簡略化した。

(3) 観察者：9電力会社の照明の実務担当責任者の男性11名。

(4) 評価結果：図4.2.6に明るさ感の回帰直線を示す。

4.2.3.5 実験B4

これまでの実験結果を実験式にまとめることを企画して、従来低色温度光源のデータが欠けていたのを補うことを目的とした実験。

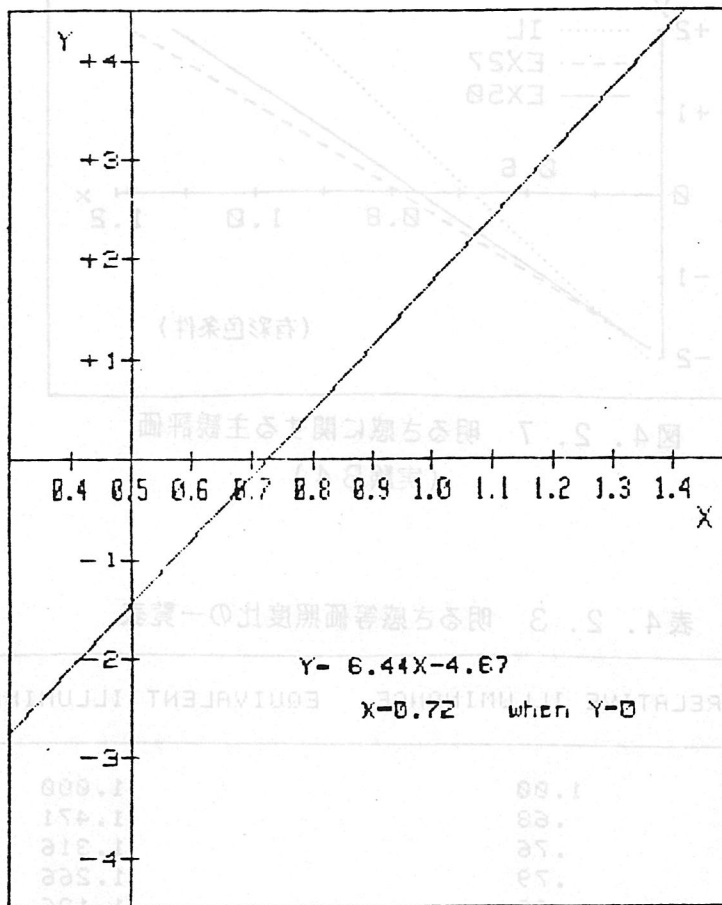


図 4. 2. 6
3 波長形蛍光ランプ
の明るさ感評価
(実験 B 2)

- (1) 室内物体色：サイドテーブルを省略して、従来その上に乗せていた有彩色物体を主テーブル（格子柄布地を掛けたもの）の片半分に乘せたこと以外は 4. 2. 3. 2 の(1)と同じである。
- (2) 試験側照明：100V150W白熱電球により1000, 830, 680, 560, 470lxのレベルに設定した。また2700Kの3波長形蛍光ランプ（EX50/2）によってそれぞれ1440, 1200, 1000, 830, 680lxのレベルに設定した。
- (3) 観察者：4. 2. 3. 2 (3)とほぼ同様な構成の男22名（25～56才）、女7名（19～30才）。
- (4) 評価結果：図 4. 2. 7に示す。

以上表 4. 2. 1に示した実験の他に、公表していなかったが昼白色蛍光ランプの明るさ感について同等規模の実験を行なって白色蛍光ランプとの等価照度比が 1/0.88 の値を得ていた。以上述べた条件と規模がほぼそろった実験 B 1と B 4の結果にそれを加えて実験式を考えることとした。その等価照度値を一括して表 4. 2. 3に示す。

4. 2. 4 実験 C：同色・異分光分布照明における明るさ感マッチング

4. 2. 4. 1 実験 Cの目的

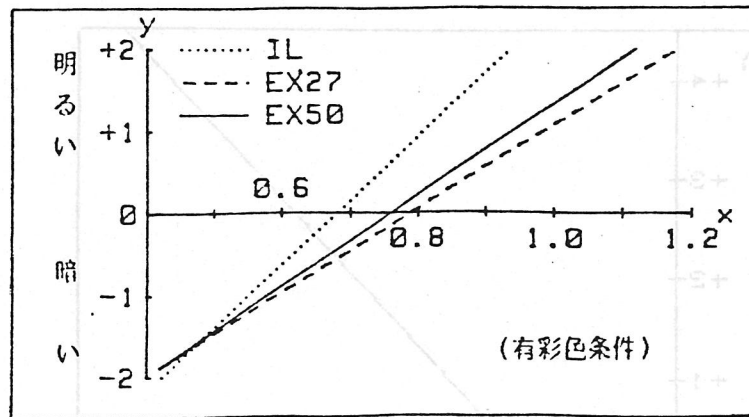


図4. 2. 7 明るさ感に関する主観評価
(実験B4)

表4. 2. 3 明るさ感等価照度比の一覧表

| LAMP NAME | RELATIVE ILLUMINANCE | EQUIVALENT ILLUMINANCE RATIO |
|--------------|----------------------|------------------------------|
| FL40S.W | 1.00 | 1.000 |
| IL100V150W | .68 | 1.471 |
| FL40S.EX50/2 | .76 | 1.316 |
| FL40S.EX27 | .79 | 1.266 |
| FL40S.W-F | .88 | 1.136 |
| FL40S.EX50/1 | .73 | 1.370 |
| FL40S.EDL50 | .79 | 1.266 |
| FL40S.D | .98 | 1.020 |

米国で prime color式という3波長形蛍光ランプを開発し、その特異な明るさ感の効果を力説しているThorntonの講演を1982年A I Cベルリン大会で聞く機会を得た。そこで、光源の分光分布が異なる場合には同一照度で同じ非選択反射物体を照明しても明るさ感が異なることがあることを聞いた。事実とすれば三色表色系を基本からくつがえすものであって実験的に確認する必要があると考えた。また実験B2において無彩色条件でも明るさ感に差異が出て、それを膚色等が入った実験配置のせいであると考えていたが、一応Thornton説とともに確めるのも意味があると考えて実験を計画した。

4. 2. 4. 2 実験条件

65x65x65cm³の照明ブースを図4. 2. 8のように2台併置し、左の試験光側と右の参照光側とを図の上部に示す表の蛍光ランプで照明する。試験光側はいずれも5000Kに近い相関色温度の蛍光ランプであり、白色、昼光色ランプの組合せは両者の点灯本数と一部の遮蔽で調節してほぼ5000Kを実現する。参照光側は全ランプを一斉に調光する。参照光側は3原色蛍光ランプ3種類の組合せまたは昼光色および白色蛍光ランプの組合せで、どちらの場合も各種のランプごとに調光して試験光側照明とカラーマッチングができる。カラ

ーマッチングした結果の輝度と色度は校正した望遠形色彩輝度計で輝度と色度座標の測定ができる。観察者は正常色覚の6名の男性で、いずれも視感色評価の経験があるか又は関心が高い者である。

4. 2. 4. 3 実験C1：灰色色票のマッチング

試験光側および参照光側の光源の組合せの一つについて、両ブース底面中央に図4. 2. 8のように $30 \times 25 \text{cm}^2$ のN6灰色色紙を置く。この色紙はほぼ視角 10° に相当する。試験光側の照度を一定とし、参照光側の3色または2色の調光によってN6色紙の色と明るさをマッチングさせる。この状態で両方のN6色紙の輝度を測定し記録する。次に試験光側の照度を一旦変更し、少時をおいて再び試験光を調光して参照光側と明るさマッチングを行なう。これを一人で5回繰返して試験光側対参照光側の輝度比を測定する。

4. 2. 4. 4 実験C2：カラーモザイクパターンの明るさマッチング

上記の状態でも両ブースのN6色紙を両者同等なカラーモザイクパターンと置き変える。このパターンは $30 \times 25 \text{cm}^2$ の台紙にマンセル色票群から無作為に選択した $2 \times 4 \text{cm}^2$ の色票を張付けたものである。両ブースの照明は観測者自身がカラーマッチングをしたものなので照度も色度も等しいが、分光分布が異なるので、カラーパターンの全体的な明るさ感覚は一般にはマッチングしない。そこでこれをマッチさせるように試験光側を調光し、マッチしたときにカラーパターンをN6色紙に取替えて、試験光側対参照光側の輝度比を測定し、これを5回繰返す。

4. 2. 4. 5 結果

試験光側を3波長形ランプとし、参照光側を白色、昼光色ランプの混光としたときの6人の観察者が明るさマッチングをしたときの輝度比の最大最小範囲を図4. 2. 9に示す。実線はN6色紙でのマッチングの結果であり、破線はカラーパターンでのマッチングの結果である。6名中3名は各測定実験を2シリーズづつ行なっている。これによると全観察者ともほぼ等輝度で明るさもマッチしている。カラーパターンについては個人差が大きく、観察者によっては(JA)N6色紙と同様な1:1に近い照度比を要求し、別の観察者(MT)は3波長形ランプではずっと少ない照度でよいとしている。

図4. 2. 10は6種類の照明光の組合せについて全観察者によるマッチング時の灰色

実験使用ランプ

| 試験光 | 参照光 |
|----------------|------------------|
| 三波長域発光形蛍光ランプ | 赤・緑・青の単色蛍光ランプの混光 |
| 色評信用蛍光ランプ | 白色・昼光色蛍光ランプの混光 |
| 白色・昼光色蛍光ランプの混光 | |

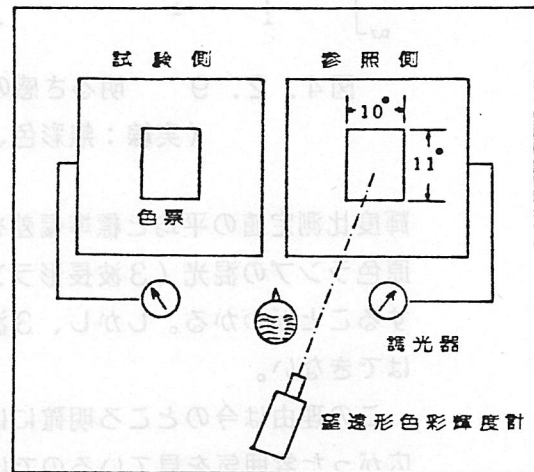


図4. 2. 8 観察状況(実験C)

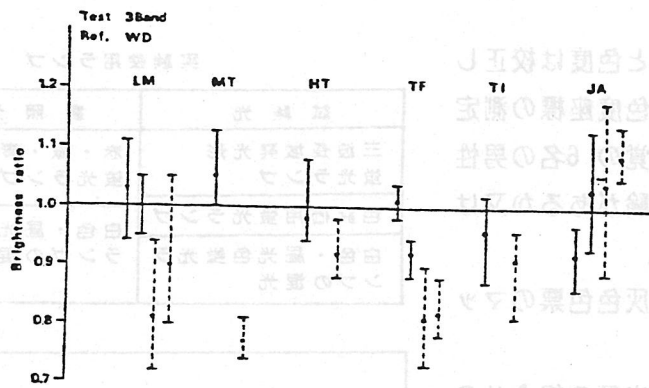


図4.2.9 明るさ感のマッチング
(実線：無彩色、破線：有彩色)

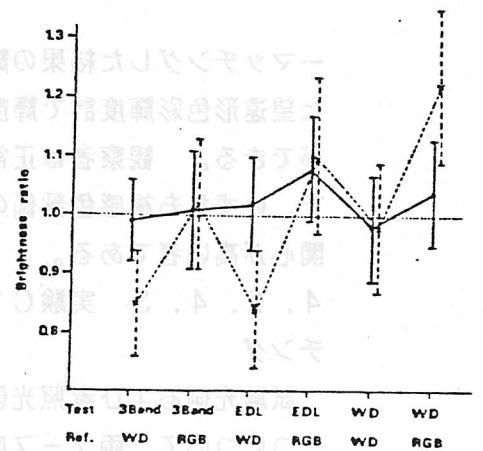


図4.2.10 各組合せにおける全観察者平均

輝度比測定値の平均と標準偏差を示している。3波長形ランプ、EDL形ランプおよび3原色ランプの混光（3波長形ランプに類似する）の場合には低い輝度で明るさがバランスすることがわかる。しかし、3波長形でも実験2ほどには低い輝度（照度）に下げることができない。

この理由は今のところ明確には分らないが、一つの理由として実験2のように全視野に広がった雰囲気を見ているのではなく、この実験では限られた視野を見ていることがあると思われる。有彩物体色を照明したときに、通常のB/L効果よりも大きく“明るさ感”が増加してみえるのには色対比が一原因になっている可能性があるが、視角が小さい図形では色対比の効果は少なくなるからである。

4.2.5 色域面積による実験式

表4.2.3にまとめた実験結果を演色関連の諸量から予測する実験式として、明るさ感の現われ方から考えて、演色評価試験色による色域面積Gと関係づけて等価照度比 r_E を求める次の形の式を用いた。

$$r_E = a \cdot [\{ (G_{k8}/G_{r8}) + (G_{k4}/G_{r4}) \} / \{ (G_{08}/G_{R8}) + (G_{04}/G_{R4}) \}]^n \quad (4.2.1)$$

ここで色域面積Gの添字は

- 8 : 演色評価用試験色1-8の8色による色域
- 4 : " 9-12の4色による色域
- k : 試験光源による色域
- 0 : 基準白色蛍光ランプによる色域
- r : 試験光源の演色評価用基準光による色域
- R : 基準白色蛍光ランプの演色評価用基準光による色域

またa, nは定数。

この式は一見複雑に見えるが、考え方も計算の手間もそれほど複雑ではない。両辺の対数をとれば、右辺は { } の対数の一次式である。そこで各種の色域面積を種々の色空間および色順応補正式の組合せで求め、両対数についての相関係数 r およびその回帰式から求めた a 、 n の値を図 4. 2. 11 に示す。相関係数が 1.0 に近いことに加えて、 a 、 n の値がともに 1.0 に近い式が単純化できることを考えると、次の場合が実用的な実験式になるといえよう。

- (1) CIEUVW 空間、CIE の演色評価基準光を用いた相対色域面積で、色順応補正は von Kries 式または納谷式。
- (2) CIELAB 空間、固定の基準光を用いた相対色域面積または色域面積の絶対値を用いて色順応補正は納谷式。

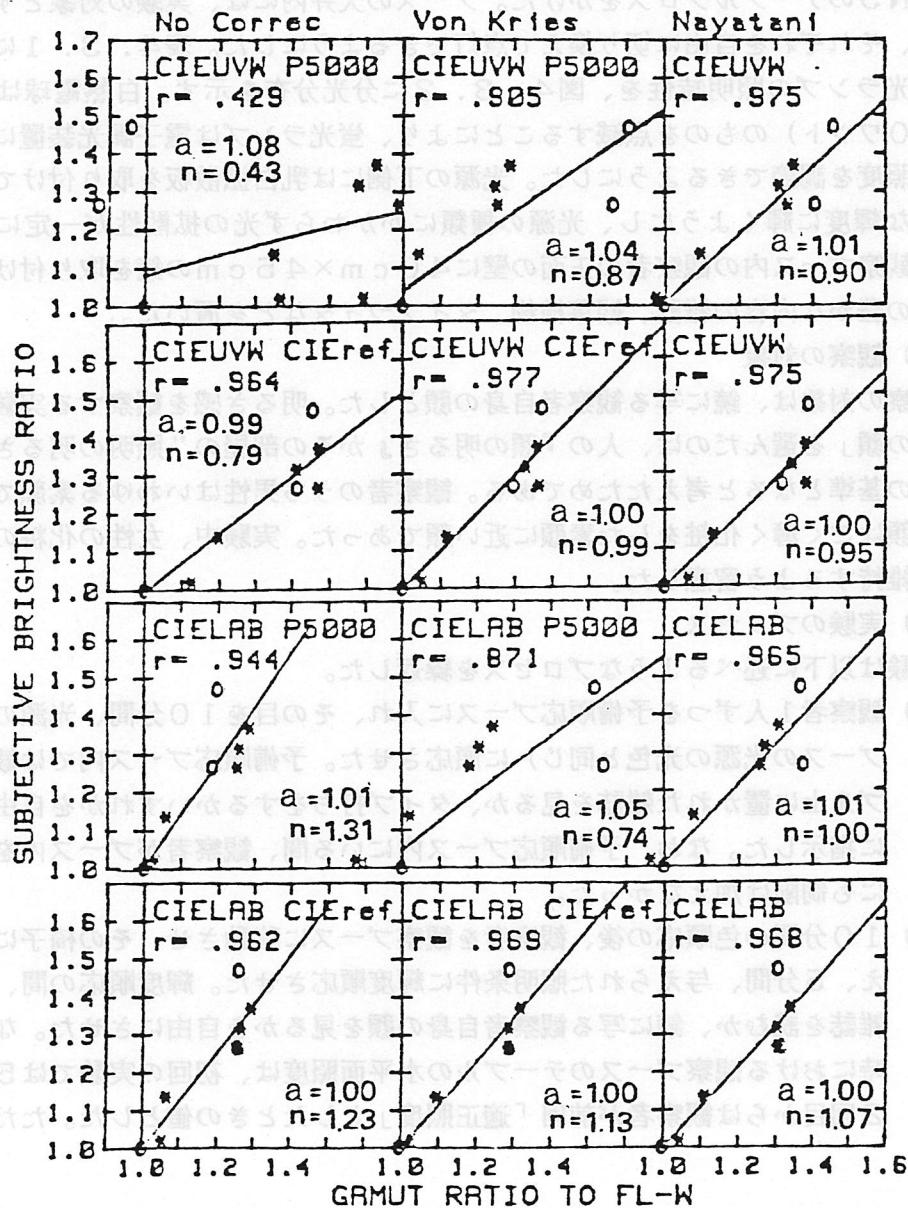


図 4. 2. 11 色空間と色順応補正式の組合せによる色域面積比と等価照度比との相関 (0:4200k 以下、*:5000k 以上)

4.3 松下における光源の色温度・演色性と明るさ感の定量化に関する実験

4.3.1 光源の色温度が明るさ感におよぼす影響に関する実験(実験1)⁽⁷⁾⁽¹²⁾⁽²²⁾ (1975, 1977)

(1) 実験装置・ランプの照明特性

実験には図4.3.1に示すような、幅1.5m、奥行1.7m、天井高さ1.8mの大きさをもつブースを2個用い、そのうちの1個を「予備順応ブース」、他の1個を「観察ブース」として使用した。両ブースとも、その内面は使用する光源の種類によるメタメリズムが少ない、特に選んだN8の布貼とした。

各ブースの中にはそれぞれ壁面の一つに接するように作業机と椅子を配置し、観察者が椅子に坐って指示された「作業」を行えるようにした。机上面には壁面仕上げと同様の理由でN5のテーブルクロスをかけた。ブースの天井内には、実験の対象とする光源を取り付け、それぞれを自由に切り換えて点灯できるようにした。表4.3.1に実験に使用した蛍光ランプの照明特性を、図4.3.2に分光分布を示す。白熱電球は36個の小型(60ワット)のものを点滅することにより、蛍光ランプは電子調光装置により、それぞれの照度を調節できるようにした。光源の下側には乳白拡散板を取り付けて、これがほぼ一様な輝度に輝くようにし、光源の種類にかかわらず光の拡散性が一定になるようにした。観察ブース内の観察者の正面の壁に40cm×45cmの鏡を取り付け、机上面には、色彩の豊かな内容の雑誌、観葉植物、タイプライタなどを置いた。

(2) 観察の対象

観察の対象は、鏡に写る観察者自身の顔とした。明るさ感を観察する実験の対象として「人の顔」を選んだのは、人の『顔の明るさ』がその部屋の「照明の明るさ」を判断するための基準となると考えたためである。観察者のうち男性はいわゆる素顔であったが、女性の顔はごく薄く化粧をした素顔に近い顔であった。実験中、女性の化粧の状態はほぼ一定に維持するよう留意した。

(3) 実験のプロセス

実験は以下に述べるようなプロセスを繰返した。

- a) 観察者1人ずつを予備順応ブースに入れ、その目を10分間、光源の光色(観察ブースの光源の光色と同じ)に順応させた。予備順応ブース内では観察者にはテーブル上に置かれた雑誌を見るか、タイプ打ちをするかいずれかを自由に行なうように指示した。なお、予備順応ブース内にいる間、観察者がブース内を見わたすことにも制限は加えなかった。
- b) 10分間の色順応の後、観察者を観察ブースに移動させ、その椅子に着席させたうえで、5分間、与えられた照明条件に輝度順応させた。輝度順応の間、テーブル上の雑誌を読むか、鏡に写る観察者自身の顔を見るかを自由にさせた。なお、輝度順応時における観察ブースのテーブルの水平面照度は、初回の実験では500ルクス、2回目からは観察者が前回「適正照度」としたときの値とした。ただし、実験中、

観察者にはこのようにして照度が設定されていることについては知らせなかった。

c) 5分間の輝度順応の後、実験者の指示にしたがって、観察者に観察者自身の顔を見ながら、蛍光ランプの場合はテーブル面上に置かれた電子調光装置のつまみを観察者自身が操作し、白熱電球の場合には実験者が操作盤で1灯ずつの点滅を行なうことにより照度を変え、普通の事務室での話相手の顔の“明るさ”を想定して、これ以上の明るさレベルのもとでの顔の見えかたであればよいと思われるような状態に調節させた。このときの顔面の鉛直面照度を測定し、これを適正照度の下限值（以下、これを「適正照度」という）とした。

d) 以上のようなプロセスを各実験条件ごとに、原則として5回繰り返した。ただし、同一の実験条件に対して、照度値が大きくばらついた場合には7回繰り返した。繰り返しを5回行なった場合のデータは全数、7回繰り返した場合のデータは、そのうちの最大値と最小値を除外し、残る5回のものを分析に用いた。

(3) 観察者

実験には、正常視力（矯正視力を含む）をもち、色覚の正常な年齢25才から35才の男女計3名を用いた。

(4) 実験結果

実験結果を図4.3.3に示す。図4.3.3から、蛍光ランプについては色温度のいかんを問わず、ほぼ同様な照度範囲が「適正照度」となっているのに対して、白熱電球についてはその「適正照度」が著しく低くなることが明らかになった。このことから、色温度が3000K以下になると「適正照度」が低下することを示しているように見えるが、蛍光ランプが何れもRaが65付近の“普通形”であるのに対して、白熱電球はRaが100であることから、演色性の影響があることが推察できる。

4.3.2. 光源の演色性が明るさ感におよぼす影響に関する実験（1977, 1979）

光源の演色性が明るさ感におよぼす影響を検討するために、視対象物として人の顔を用いた場合の実験を主体に、試験色票、皮膚色票、皮膚を用いた実験を行った。各実験の概要を示す。

(1) 広帯域発光形蛍光ランプを用いた場合（実験2.1）（1977）⁽⁷⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽²²⁾

a) 実験装置・ランプの照明特性

実験1に用いた実験装置を用いた。蛍光ランプの色温度をさらに細かく変化させるため、乳白拡散パネルの上面に色温度変換フィルタを取りつけられるようにした。実験に使用した光源の照明特性を表4.3.1に示す。

b) 実験のプロセス

実験のプロセスは下記の点を除いて、1と同様とした。

(イ) 予備順応ブースに入るまえ、観察者に実験者が指定した3種類の着色眼鏡のうちの一つを着用させ、白熱電球の光に3分間順応させた。これは、実験室に入室する前にいる居室の照明に使用されている白色蛍光ランプの光色との比較によって、観測

者が予備順応ブースの光源の色温度を知り得る可能性が高く、これが実験結果に影響を及ぼすことを防止するためである。

(ロ) 実験1では観察者自身に調光装置を操作させ、「適正照度」になるまで調整させる方法をとったが、本実験では、実験者が照度を設定し、観察者にはそれぞれの照度レベルで照明された鏡に写っている観察者自身の顔の明るさが適正であるかどうかを『YES』、または『NO』で回答させる方法とした。

c) 観察者

実験には正常視力を持ち、色覚の正常な年齢22才から29才までの男女5名を用いた。

d) 実験結果

図4.3.4に上述の『YES』と回答した照度のうち、最も低い値を「適正照度」とし、これとRaとの関係を示す。但し、Ra100に対応する「適正照度」の値は図4.3.3に示した白熱電球に対するものである。

図4.3.4に明らかなように、この実験に用いられた蛍光ランプの色温度は3300Kから6600Kまで広く分布しているにもかかわらず、「適正照度」の値は色温度の値の順序に関係なく、Raに対してほぼ一本の直線に対応している。このことから、前述のBodmannや、Schroderらの実験と同様、光源の色温度は“明るさ感”にほとんど関係なく、代わりに平均演色評価数Raに対してきわめて有意な関係をもつといえる。

(2) 狭帯域発光形蛍光ランプを用いた場合(実験2.2)(1978)(14)(17)(22)

広帯域発光形蛍光ランプで得られた光源の演色性と明るさ感の関係が、特定の波長域に発光エネルギーが集中している分光分布をもつ狭帯域発光形蛍光ランプについても適用できるかどうかを明らかにするために、同様の実験を行った。

a) 実験装置ランプの照明特性

実験1で用いた実験装置を用いた。実験に使用した光源の照明特性を表4.3.1に示す。

b) 実験のプロセス

実験のプロセスは(1)と同様とした。

c) 観察者

実験には正常視力を持ち、色覚の正常な年齢22才から29才までの男女計5名を用いた。

d) 実験結果

図4.3.5に狭帯域発光形蛍光ランプの実験結果を広帯域発光形蛍光ランプを用いた実験結果と合せて示す。

図4.3.5から明らかなように、三波長域発光形蛍光ランプと温白色蛍光ランプは、同じ平均演色評価数をもつ他の蛍光ランプに比べて適正照度の値が低くなっている。このことはランプのスペクトル特性が異なると、Raが等しくても明るさ感が異なることを意

味している。この点を明らかにするために、(3)に示す高圧ナトリウムランプを用いた実験を行った。

(3) 高圧ナトリウムランプを用いた場合 (実験2.3) (1982)⁽⁴³⁾⁽⁵⁰⁾

高圧ナトリウムランプの発光管内のナトリウム蒸気圧を順次上昇させることにより、ランプのスペクトル特性を変化させ、 R_a を低い値から高い値まで連続的に変化させた。この場合、ナトリウム蒸気圧の上昇とともに、 R_a は最大約86に達するが、その後はナトリウム蒸気圧の上昇とともに、かえって R_a は低下していく。ナトリウム蒸気圧が、この R_a の最大値に達する点を超えると、蒸気圧の増加とともに R_a は低下していくが、対象物の色彩はますます鮮やかに見えるようになる。このようにして、高圧ナトリウムランプは、 R_a は等しいが演色特性の異なる2種類のスペクトルを得ることができる。表4.3.2に実験で用いた高圧ナトリウムランプの照明特性、図4.3.6にこれらのランプの分光分布の一例を示す。

a) 実験のプロセス

実験2.1と同様のプロセスで、観察者の目を観察しようとする高圧ナトリウムランプの光色にじゅうぶん色順応、輝度順応させたのち、ブース内の照度を調節させ「適正照度」を求めた。ただし、ブース内の照度はランプの下に取付けたルーバの開閉度の調節により変化させた。観察は各条件に対して1人の観察者が5回ずつ繰り返した。

b) 実験結果

実験の結果を図4.3.7に示す。この図から蛍光ランプを用いた実験の結果と高圧ナトリウムランプを用いた実験の結果とはかなり異なっており、 R_a が低い値から86までは同じ明るさ感を得るための等明るさ感照度比は漸次上昇するが、86に達したのち低下しはじめる領域では、 R_a が低下しているのに等明るさ感照度比はかえって上昇する。

これはランプのスペクトルによって同じ R_a の値をもつランプでもその演色効果がそれぞれ異なっていることに原因があると思われる。したがって、図4.3.7に示したような R_a と等明るさ感照度比との関係は光源のスペクトル特性に応じてそれぞれ別個のものが存在することを意味し、例えば従来の蛍光ランプに対する関係あるいは、高圧ナトリウムランプに対する関係を不用意にスペクトル特性の異なる他のランプに適用できないことを示している。

(4) 結論

以上行なった実験の結果は、次のように結論づけることができる。

a) 蛍光ランプについて観察した結果では光源の色温度は「明るさ感」に強い関係はない。

b) 白熱電球、蛍光ランプ、高圧ナトリウムランプについては R_a の値の高い光源ほど「明るさ感」が強い照明効果を得られ、低い照度で同じ「明るさ感」を得ることができる。

c) 光源のスペクトル特性によって、Raと「適正照度」との関係は異なっており、あるスペクトル特性をもつ光源に関する関係をスペクトル特性の異なる他の光源に適用できないことがある。

d) 三波長域発光形蛍光ランプおよび温白色蛍光ランプによる「明るさ感」は、同じRaの値を持つ従来形の蛍光ランプより大きく、三波長域発光形蛍光ランプは従来形の「白色蛍光ランプ」の照度を約140%に増加させた場合に相当する「明るさ感」を有する。

e) 蛍光ランプより高圧ナトリウムランプの場合のほうが、「明るさ感」に対するRaの影響は大きい。

(5) 各種色票を用いた場合の実験(実験2.5)(1982,1983)⁽³⁴⁾⁽³⁸⁾⁽³⁹⁾⁽⁴¹⁾⁽⁴⁸⁾⁽⁵²⁾

光源の演色性が明るさ感に及ぼす効果Sanderらが実験研究したB/L効果とどのように対応するかを検討するために、各種色票を用いた実験を行った。

a) 実験装置

実験装置は実験2.6と同様のものを用いた。一方のブースには基準として普通形蛍光ランプ(色温度4100K、Ra=64、以下これを基準光源という)を、他のブースには比較用光源(以下これをテスト光源という)として基準光源と色温度が比較的近い演色改善形蛍光ランプ(色温度4500K、Ra=87)と三波長域発光形蛍光ランプ(色温度4950K、Ra=84)を取り付け、別々に点灯できるようにした。表4.3.1にランプの照明特性を示す。

b) 観察の対象

観察の対象として、表4.4.3に示す17種類の色票をもちいた。それらは、5基本色相それぞれについて、低および中～高マンセルクロマを有し、ほぼマンセルバリュー5/を有する色票13種と、肌色2種、無彩色2種を加えた。各色の大きさは視角約10°とした。

c) 評価方法

実験は下記のプロセスで行った。

(イ) まず被験者の左目で基準ブース内および右目でテスト・ブース内の所定の位置(ほぼ対称位置)の無彩色背景を約3分間観察させ、それぞれの照明光に順応させた。照度は2,000lxとした。

(ロ) 順応後、表4.3.3からランダムに選んだ2枚の同一サンプルをそれぞれ両ブースに提示し、被験者に両試験色を観察させ、基準光源下の試験色の明るさ感と、テスト光源下の試験色の明るさ感が同一になるよう、被験者の要請に基づいて被験者がテストブースの照度を調節した。最終的に等しい明るさ感の成立した状態でのテストブースの照度をさだめた。

(ハ) 次に、基準ブースとテスト・ブースの観察面の照度を同一(2,000lx)とし、基準ブースの試験色の明るさ感を「100」とした場合の、テスト・ブース内の明るさ感を数値で直接評価させた。

d) 観察者

正常色覚を有する男子6名を用いた。

e) 実験のくり返し回数

各観察者に対し、実験のくり返し回数は3回であった。

f) 実験結果

各観察者の実験結果はほぼ類似の傾向を示した。このため、実験結果は観察者6名の実験データの平均値で示す。図4.3.8は、各色票について同一明るさ感と評価された場合の、基準ブースの照度に対するテスト・ブース照度の比を対数尺度上に表わしたものである。図4.3.9は、テスト光源下のサンプルの明るさ感を直接評価させたときの結果である。図4.3.10は、各照明光下での各色票の色度である。この場合、光源間の色温度の差は納谷らの色順応補正式により補正してある。

図4.3.8～図4.3.10から以下のことが明らかになった。

(イ) 図4.3.8から、試験色の種類(色相)によって等明るさ感照度比は異なる。したがって、等明るさ感照度比の値は個々の色票ごとに論じる必要がある。

(ロ) 図4.3.8の×印の点は、SandersらのB/L効果の実験結果を用い、図4.3.10の各色票の照明光による色度変化から期待される輝度(照度に対応)の変化を求めたものである。傾向的には似ている部分もあるがその効果は小さい。したがって、光源の演色性による明るさ感の効果の成因は、コウルラウシュ効果(B/L効果)とは異なると考えられる。

(ハ) 図4.3.8は、照度比を対数尺度上に表わしたものである。図4.3.8と図4.3.9の各実験結果の相関はよく、照度比の対数が明るさ感にほぼ対応している。

(ニ) 黄色については、高Raランプのほうが低Raランプに比べわずかに暗く評価されている。図4.3.10より明らかのように実験に使用した黄色サンプルは、高Raランプ下でメトリッククロマの変化よりむしろ色相の変化のほうが大きい、したがって黄色については、メトリッククロマの上昇が明るさ感の上昇をもたらすかについては今後の検討事項である。

(ホ) 膚色色票については、実験2.1, 2.2, 2.3の実験結果とは異なり、高Raランプ下で明るさ感の増加はみられなかった。この差は色票と現実の膚の評価の差に基づくものと想定される。この点について検討するために2.6に示す実験を行った。

また、上述した実験のように両眼視による明るさ感の評価と、今回の実験のように両眼隔壁法による明るさ感による評価とが異なった評価結果を与える可能性も考えられるので、この点についてはさらに詳細な検討が必要である。(6)光源の演色性と皮膚および皮膚色票の明るさ感(1984, 1985)⁽⁵¹⁾⁽⁶²⁾

光源の演色性による部屋の照明の明るさ感の効果が色票や有彩色物体を用いた実験と、人の顔を対象とした実験との間にどのような差があるかを明らかにするため、人の顔の皮膚(左頬の一部)を対象物とした場合の明るさ感の実験(実験2.6-1)、及び実験1の皮膚の分光反射率とほぼ等しい分光反射率を有する皮膚色票を対象物とした場合の明るさ感の実験(実験2.6-2)を行い、実験2.1、実験2.2で明らかにしている人

の顔を対象物とした場合の等明るさ感照度比の実験結果と比較検討した。

a) 実験2.6-1

光源の演色性差異によって、皮膚（人の顔の左頬の一部分）の明るさ感がどの程度変化するかを明らかにするために、下記の二つの実験を行なった。

実験(1)：白色蛍光ランプの照明下で、皮膚と皮膚色票とが同じ明るさ感となる皮膚の照度を求める実験。この場合、皮膚色票の照度は700 lx一定に設定した。

実験(2)：実験(1)と同じ視対象物を用い、皮膚色票を白色蛍光ランプで、皮膚を三波長域発光形蛍光ランプで照明し、両視対象物の明るさ感が同じとなる皮膚の照度を求める実験。この場合も皮膚色票の照度は700 lx一定に設定した。

この二つの実験から、白色蛍光ランプから三波長域発光形蛍光ランプに替えた場合の皮膚の明るさ感の変化を予測することができる。

(イ) 実験装置

実験には、図4.3.11に示すような、幅110 cm、奥行60 cm、高さ50 cmのブース（内壁N5）を隔壁で二つの等しいブースに分割し、それぞれの天井に白色蛍光ランプ（色温度4100 K、Ra=64）を取り付け、個別に点灯及び調光できるようにした。両ブースの正面の壁に、4 cm×4 cm（視角寸法：約3度）の正方形の開口部を隔壁に対して対称となる位置に設けた。開口部には可視域での分光透過率がほぼ一様なアクリルパネルを取り付け、その後方から、片方には、実際の人間が顔の頬の部分を軽く接触させ、あたかも皮膚色票が張りつけられたような状態を作り、他方には皮膚色票を取り付けて、それぞれ視対象物とした。

(ロ) 視対象物

視対象物として、女性の人の顔の皮膚（左頬の一部分）と皮膚の分光反射率とほぼ近い反射率特性を有する皮膚色票を用いた。両者の色差は白色蛍光ランプの照明下で2.1 CIE LAB単位、三波長域発光形蛍光ランプの照明下で2.2 CIE LAB単位であった。

(ハ) 観察者

観察者には正常視力（矯正視力を含む）と正常な色覚を有する男子2名、女子1名を用いた。

(ニ) 実験のプロセス

観察者の左眼で左側のブースの開口部に提示されたN5色票を、右眼で右側のブースの開口部に提示された同じN5色票を約3分間観察させ、これに輝度順応、色順応させた。但し、両ブースの照度は700 lxとした。3分の後、一方のブースの開口部には皮膚（人の顔の左頬の一部分）を、他方のブースの開口部には、皮膚色票を提示し、観察者に両視対象物の明るさ感が同一となるように、皮膚側のブースの照度を調節させた。

(ホ) 実験のくり返し回数

視対象物としての皮膚と皮膚色票は、左側、右側、のブースにそれぞれ交互に提示し、それぞれを別の観測条件とすると同時に、提示条件による影響を除外した。観察者一人あたり、一つの観測条件に対して11回、計22回の実験を繰り返した。

実験(2)については、実験装置は実験(1)に用いたものと同一であるが、皮膚が提示されたブースの照明を三波長域発光形蛍光灯ランプ（色温度4950K、Ra=84）に取り替えて行なった。視対象物、観察者、実験方法は実験(2)と同様である。

(ハ) 実験結果

実験(1)、実験(2)の結果を図4.3.12に示す。図4.3.12は各実験で得られた観察者3人の全データの算術平均値、及びその標準偏差を示したものである。この図は白色蛍光灯を用いて照度790 lxで照明された皮膚の明るさ感と、三波長域発光形蛍光灯ランプを用いて照度620 lxで照明された皮膚の明るさ感と同じであり、これらと白色蛍光灯を用いて照度700 lxで照明された皮膚色票の明るさ感も等しいことを示す。

したがって、皮膚を視対象物とした場合、白色蛍光灯の照明下に対し、三波長域発光形蛍光灯の照明下では、等明るさ感照度比で約27% ($790/620=1.27$)の明るさ感が増加し、この明るさ感の効果は、実際の人の顔を用いた2.3実験で得られた等明るさ感照度比約42%に比べて小さい。

b) 実験2.6-2

光源の演色性の差異によって、皮膚色票の明るさ感がどの程度変化するかを主観評価実験により検討した。実験に用いた実験装置、光源、視対象物、観察者、実験のプロセス、実験のくりかえし回数は実験2.6-1と同様である。

(イ) 実験結果

図4.3.13に実験結果を示す。図の白丸は各観察者のデータの平均値、黒丸は全観察者のデータの平均値を示す。丸印の上下の直線の範囲はそれぞれのデータの標準偏差を示す。図4.3.13に示されるように、700 lxの白色蛍光灯照明下での皮膚色票と等しい明るさ感を与える三波長域発光形蛍光灯照明下の皮膚色票の照度は、全観察者の平均値で680 lxである。すなわち、白色蛍光灯照明と三波長域発光形蛍光灯照明での皮膚色票の等明るさ感照度の差はほとんどなく、すでに報告されている納谷らの皮膚色票に対する実験結果に近い。

(c) まとめ

皮膚および皮膚色票の明るさ感の実験結果と、人の顔の明るさ感を求めた実験2.1, 2.2の結果とを、三波長域発光形蛍光灯ランプに対する白色蛍光灯の等明るさ感照度比で比較すると、表のようになる。表4.3.4から明らかなように、明るさ感の増加は、人の顔、皮膚、皮膚色票の順に小さくなり、それぞれの間では一致しない。したがって、皮膚や皮膚色票を観察対象としても、顔を対象として求めた照明の明るさ感とは一致しないことが明らかになった。

(7) 光源の演色性と等明るさ感照度比との定量化についての検討

a) 人の顔を視対象物とした場合の実験結果（松下）に対する検討

白熱電球、蛍光灯、高圧ナトリウムランプに対する等明るさ感照度比 $(E(W)/E$

(i)、 $E(Ld)/(i)$ 、 $i = 1 \sim 17$) と視対象物である人の顔と類似の分光反射率である特殊演色評価用試験色 (No. 15) のメトリッククロマ ($Cuv^*(\rho_{15})$, $Cab^*(\rho_{15})$ 等) との関係性を求めた。なお、メトリッククロマの算出には納谷らの色順応方程式を用いて、 D_{65} 光に色順応補正した場合、および、補正しない場合について検討した。等明るさ感照度比とメトリッククロマの関係を表4. 3. 5に示す。これらから、色順応補正しないほうが色順応補正する場合よりも、メトリッククロマと等明るさ感照度比との相関が高い。また、 $Cab^*(\rho_{15})$ よりも $Cuv^*(\rho_{15})$ を用いるほうが、等明るさ感照度比との相関が高い。(相関係数: $r = 0.974$)

等明るさ感照度比 ($y = E(W)/E(i)$) とメトリッククロマ ($x = Cuv^*(\rho_{15})$; 色順応補正を施さない) の良好な関係式は、次式で示される。

$$y = 0.0399x - 0.0807$$

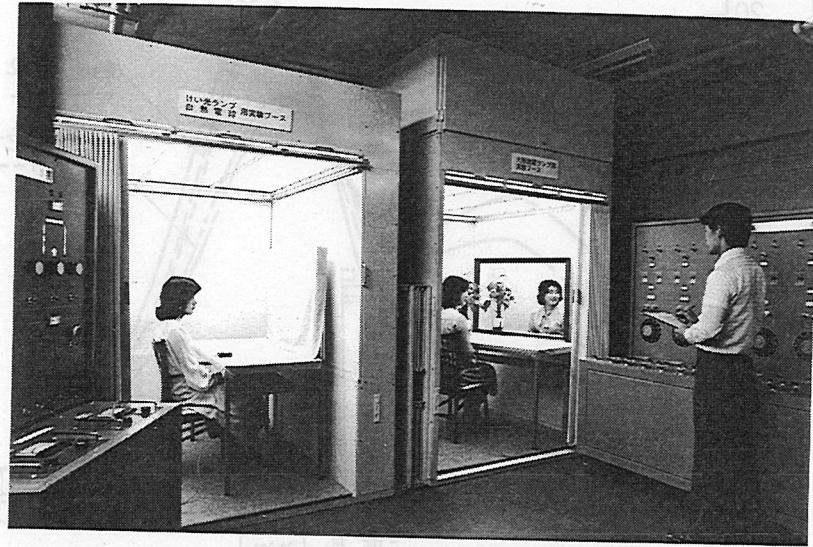
b) 人の顔を視対象物とした場合の実験結果 (東芝、松下) に対する検討
東芝と松下の明るさ感の実験に用いた蛍光ランプ、白熱電球の合計19種類について、等明るさ感照度比と各種評価指数の関係を検討した。表4. 3. 6にその結果を示す。これらから、等明るさ感照度比と相関が高い評価指数は試験色No. 15のメトリッククロマ、試験色No. 9のメトリッククロマおよび試験色No. 9から試験色No. 12の平均メトリッククロマである。このなかで、等明るさ感照度比と最も高い相関がある評価指数は試験色No. 9から試験色No. 12の平均メトリッククロマ $Cab^*(4)$ (色順応補正なし) である。

(相関係数: $r = 0.951$)

c) 種々の対象物の明るさ感に関する定量的評価指数の検討
東芝と三菱 (実験1) の明るさ感の実験に用いた蛍光ランプ、白熱電球の合計14種類について等明るさ感照度比と各評価指数の関係を検討した。評価指数としては上記の検討に用いた各評価指数の中でNo. 15試験色のメトリッククロマを除いた4種類の評価指数を用いた。

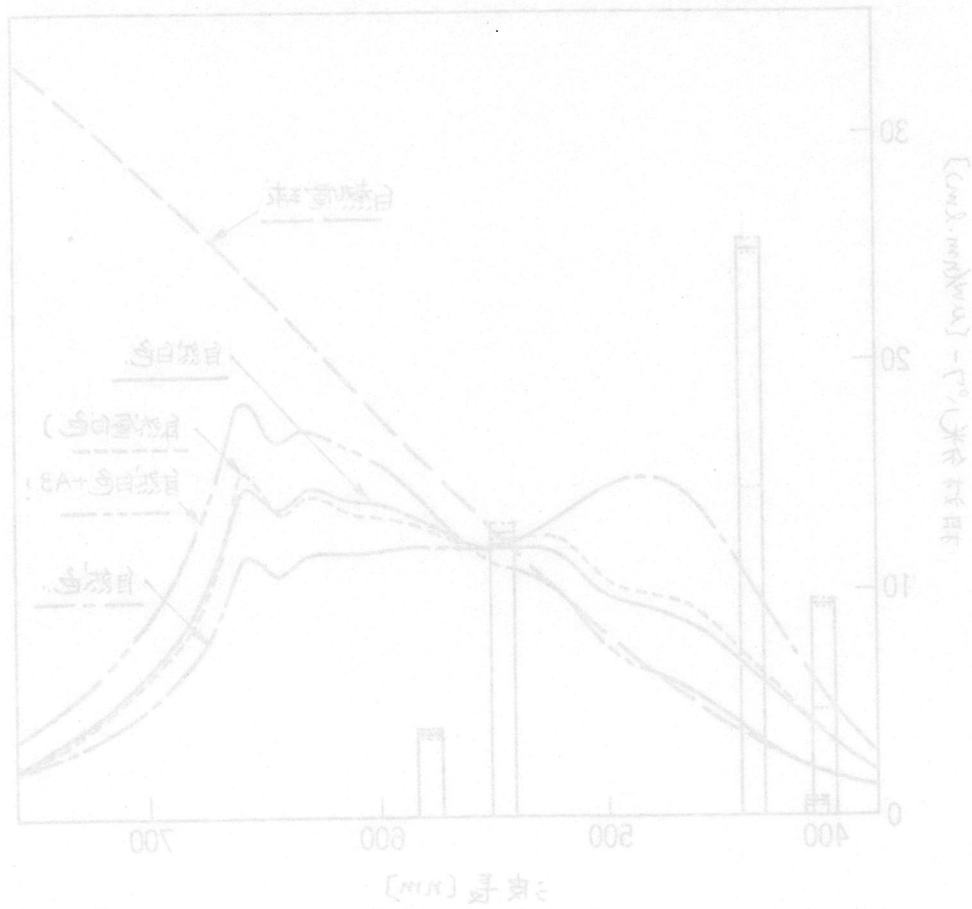
表4. 3. 7に等明るさ感照度比と各評価指数との関係を示す。以上からいずれの評価指数も等明るさ感照度比と高い相関はないことがわかる。

d) まとめ
光源の演色性と等明るさ感照度比の定量化にあたっては、視対象物の種類によって区分することが妥当であると考えられる。
その一つは顔を視対象物とした場合と他の一つは種々の有彩色物体とした場合である。前者については、試験色No. 15のメトリッククロマ $Cuv^*(\rho_{15})$ (色順応補正なし) が等明るさ感照度比と良好な相関性があることが明らかになった。後者については、c) で述べたように、今回検討した評価指数ではいずれも良好な結果を得ることはできなかった。

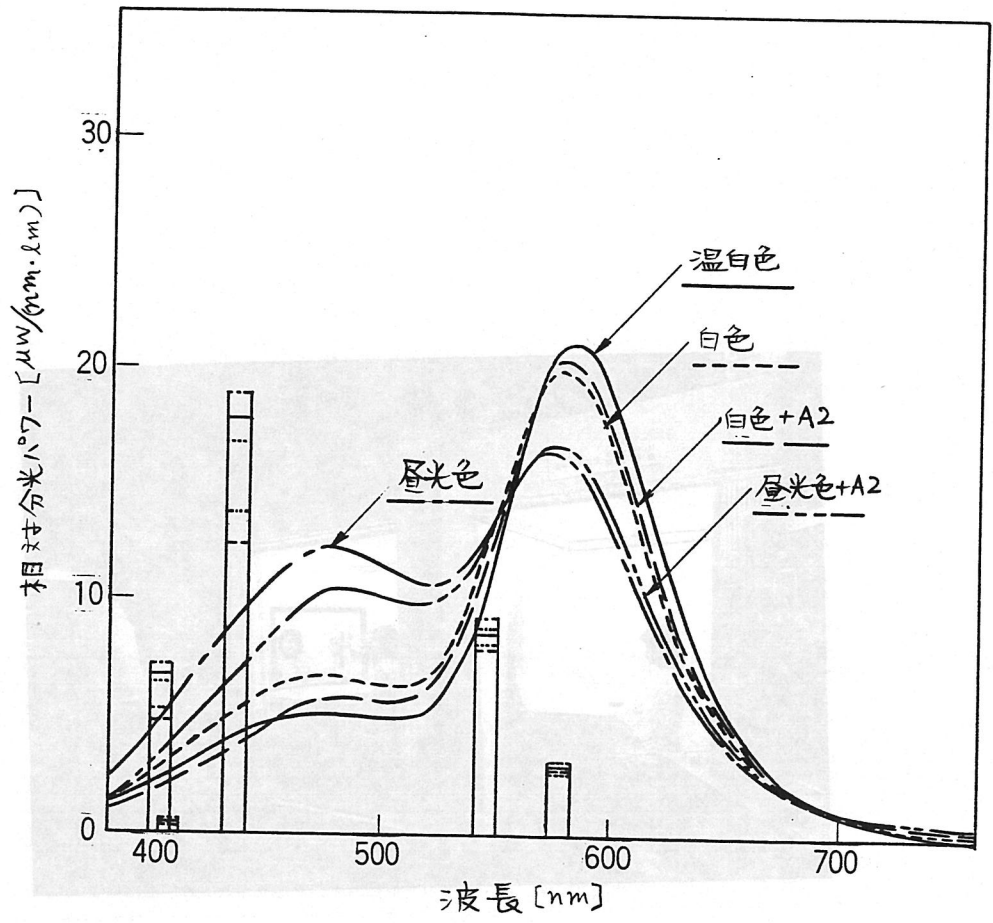


(A)

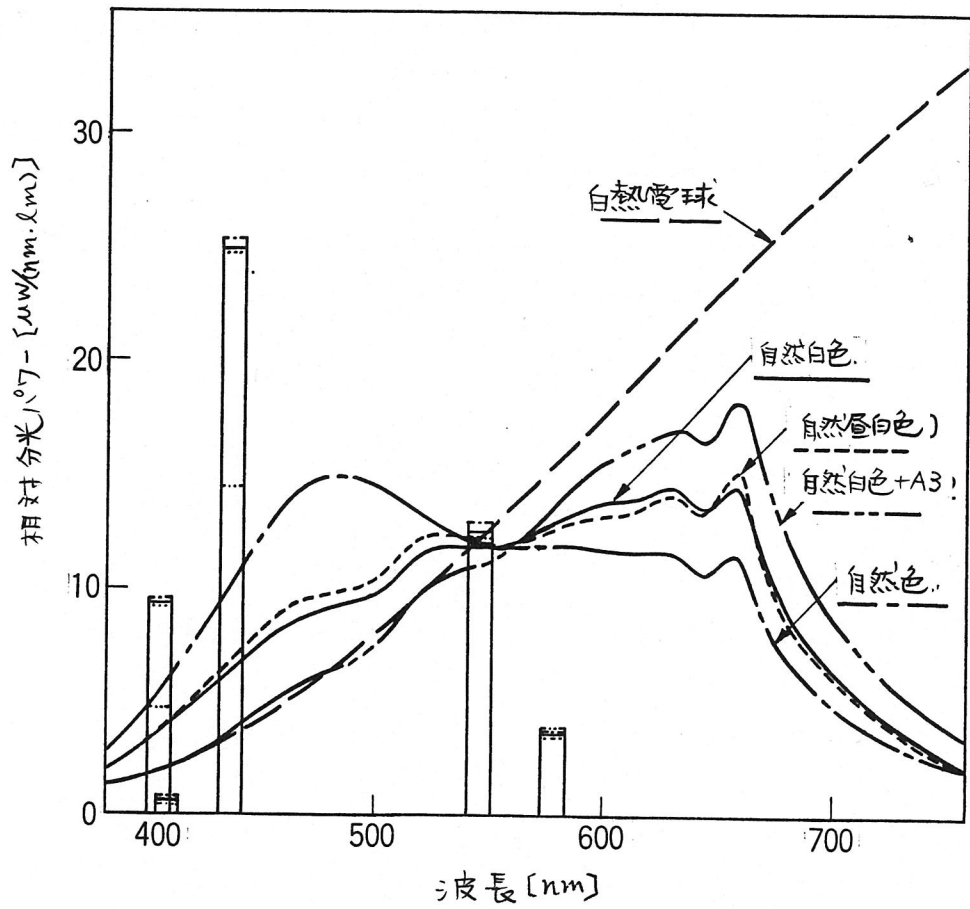
図4.3.1 実験装置



(B) - 37 -



(a)



(b)

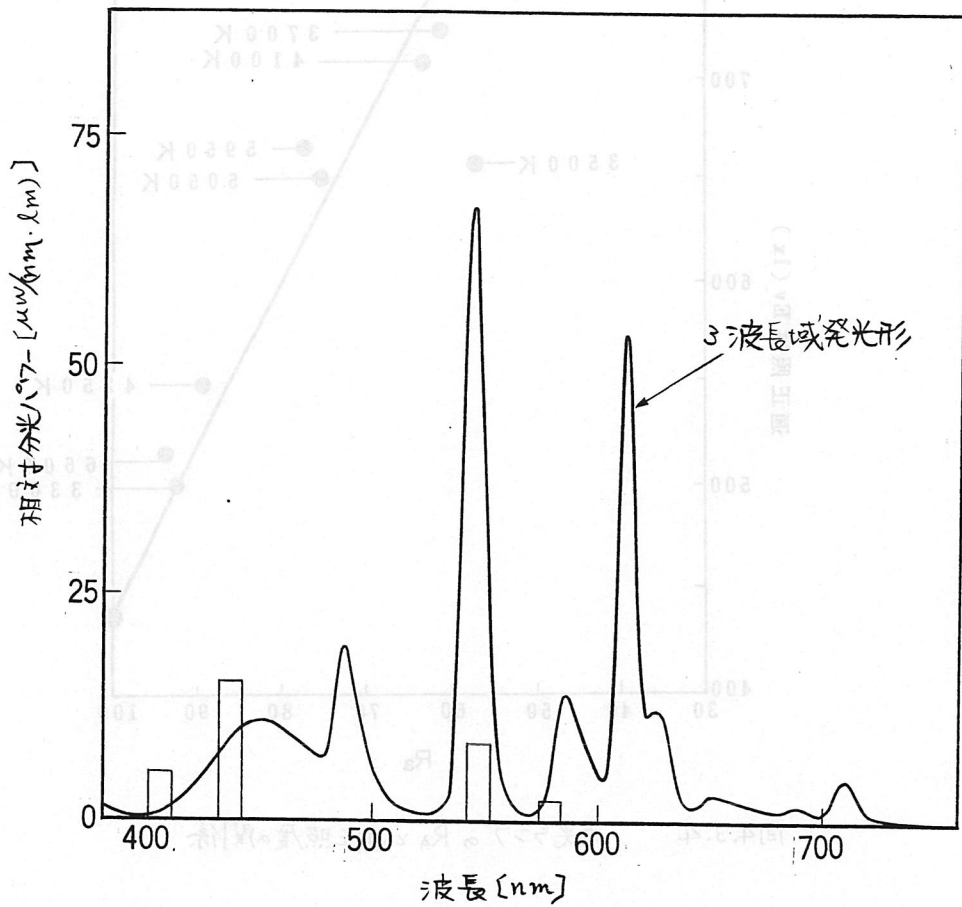


図4.3.2 実験に使用した蛍光灯、白熱電球の分光分布

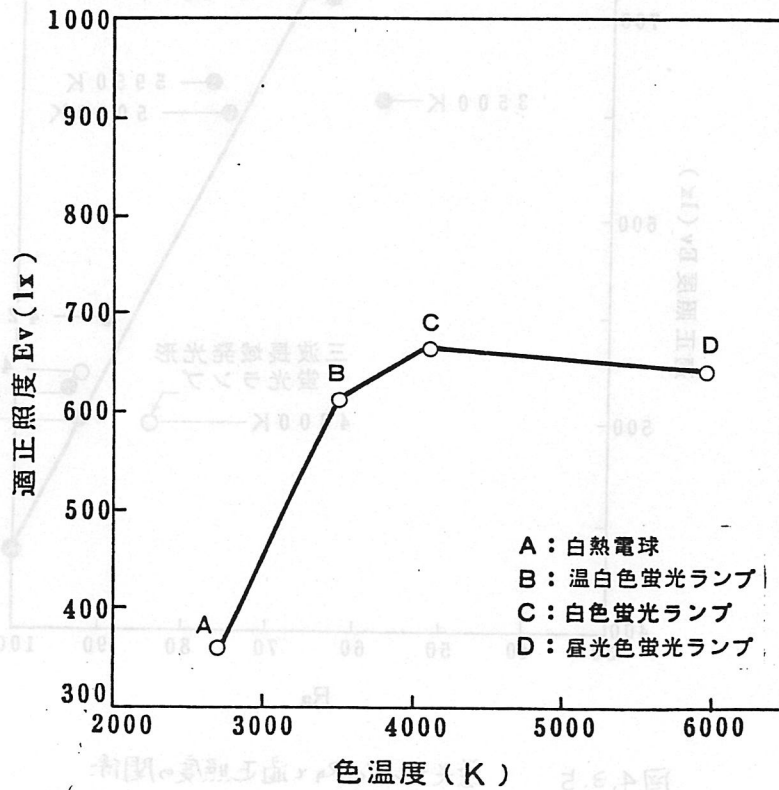


図4.3.3 各種光源の色温度と適正照度の関係

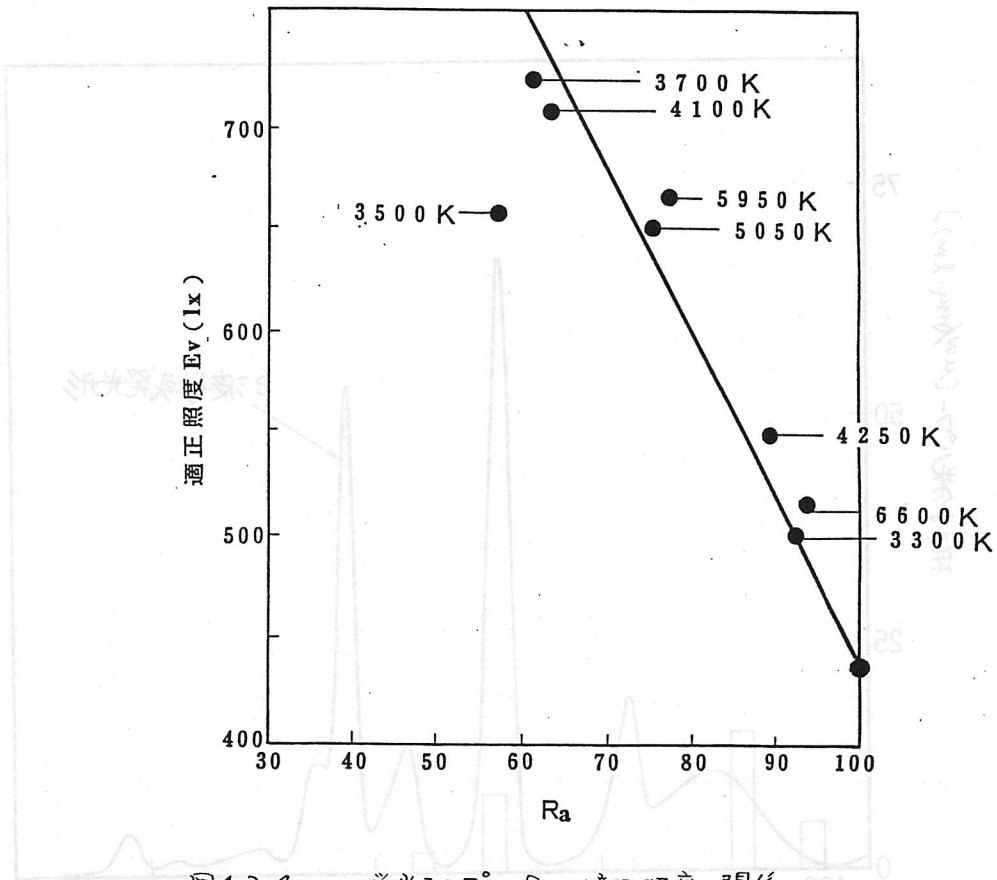


図4.3.4 蛍光灯のRaと適正照度の関係

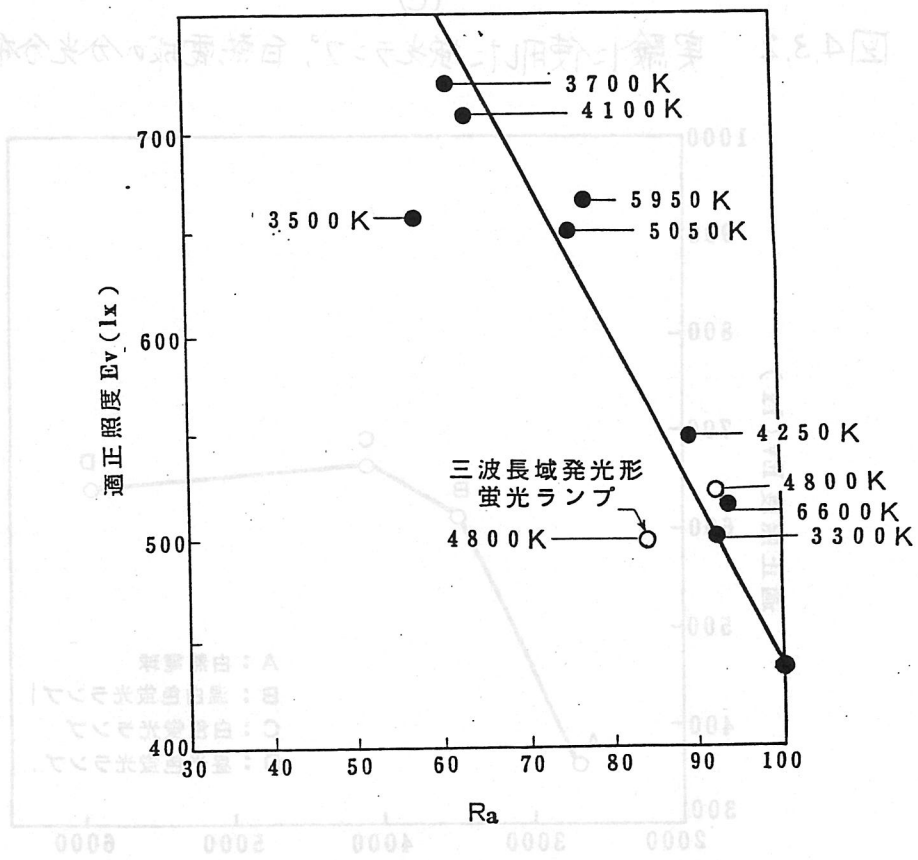


図4.3.5 (蛍光灯のRaと適正照度の関係)

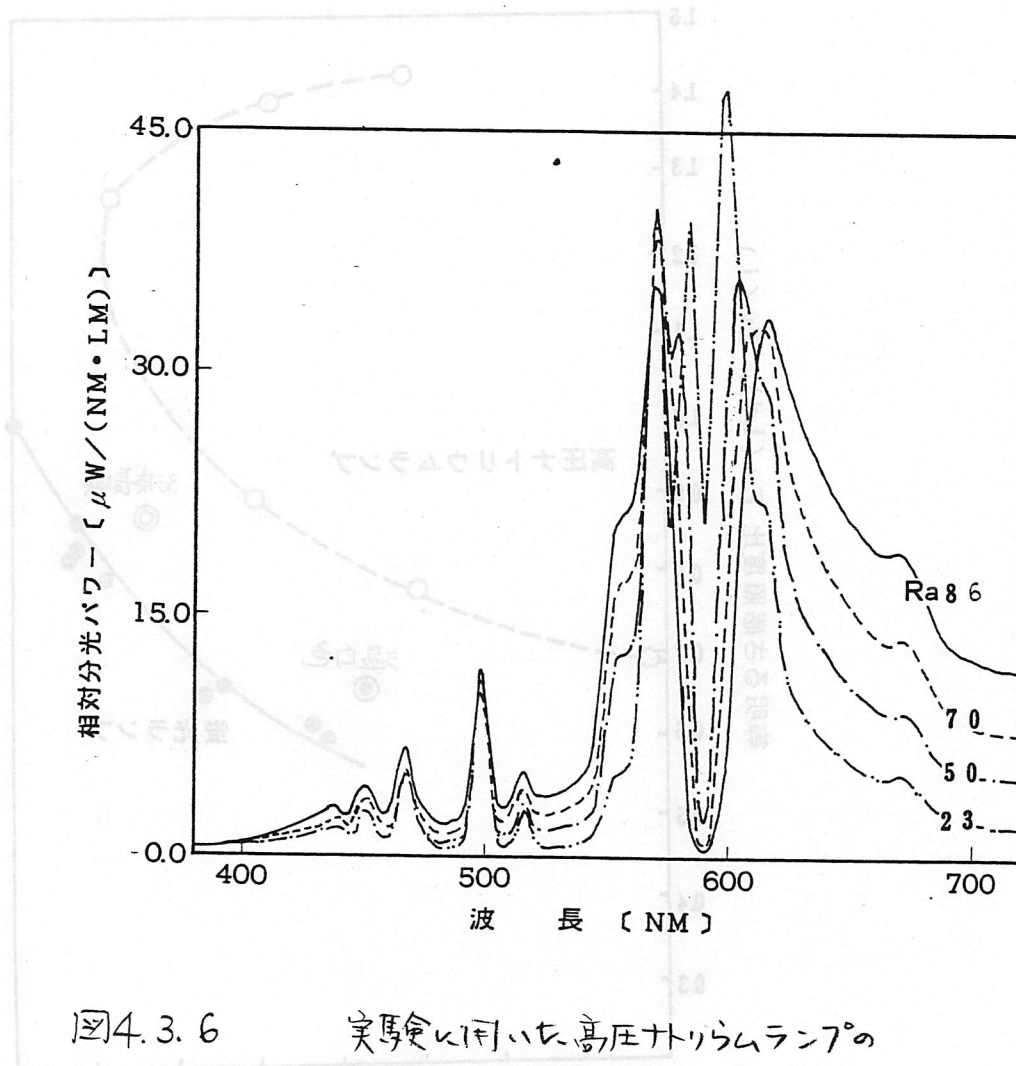


図4.3.6 実験に用いた高圧水銀ランプの
分光分布の一例

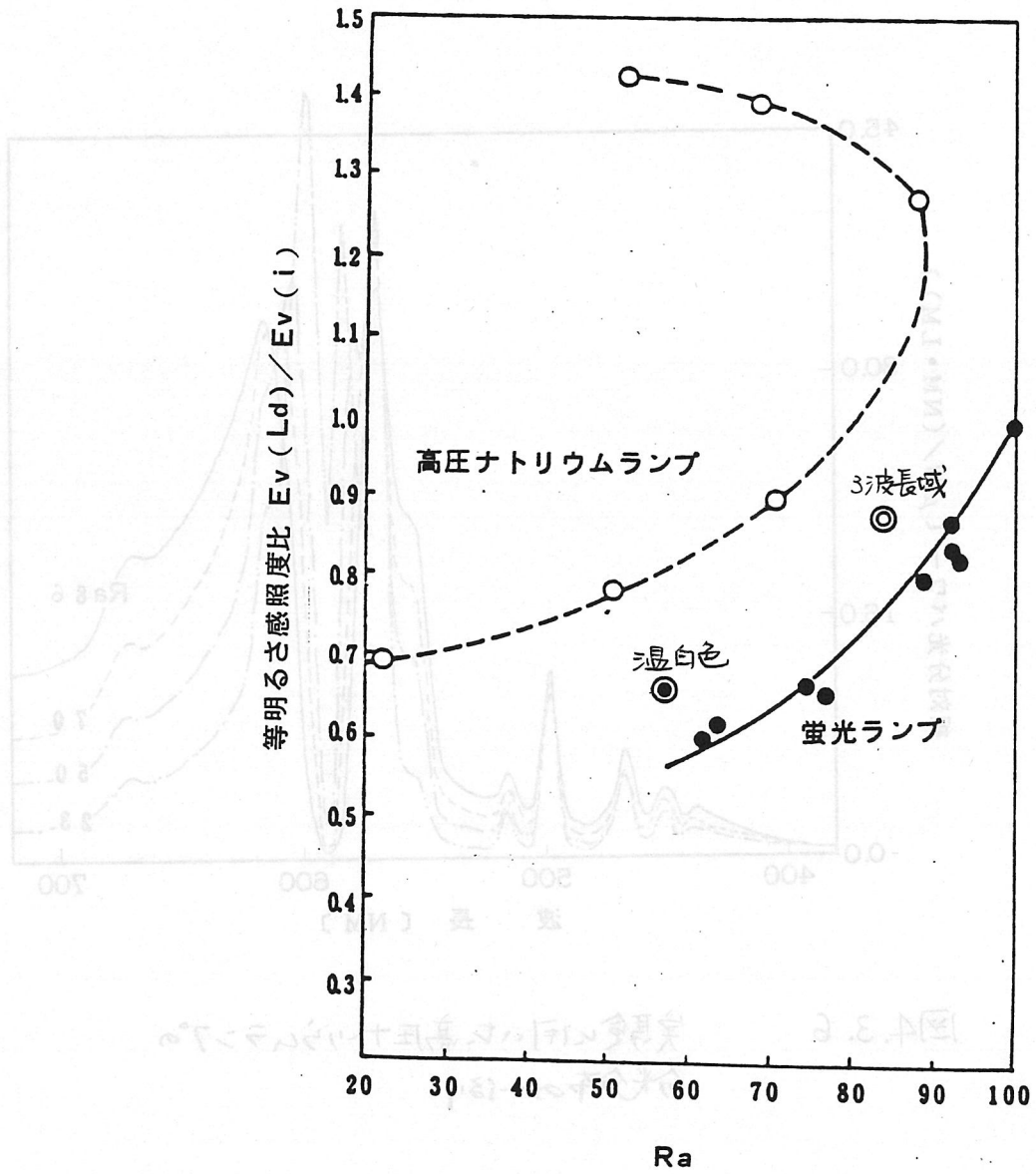


図4.3.7 蛍光ランプ、高圧ナトリウムランプのRaと等明さ感照度比の関係

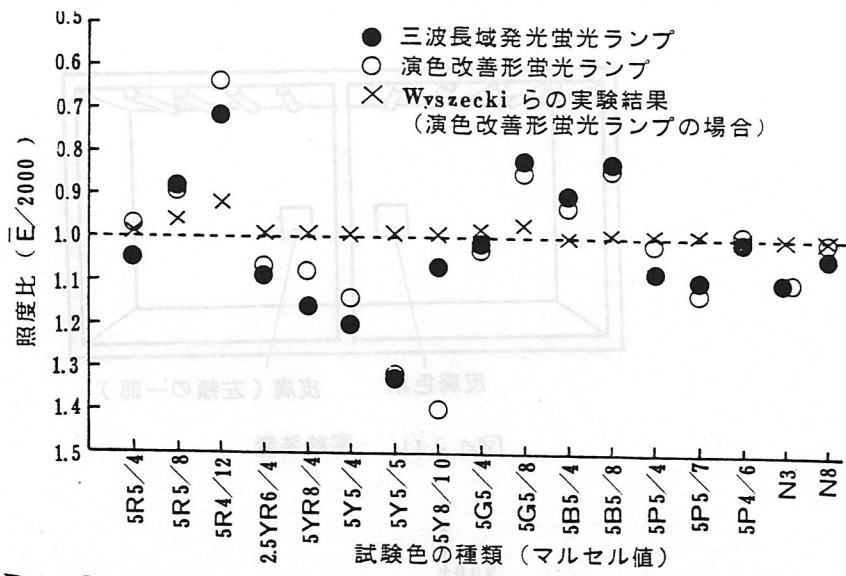


図4.3.8 基準光源下に対するテスト光源下の各試験色の明るさ知覚の評価結果 (照度レベルを変化させて評価した場合)

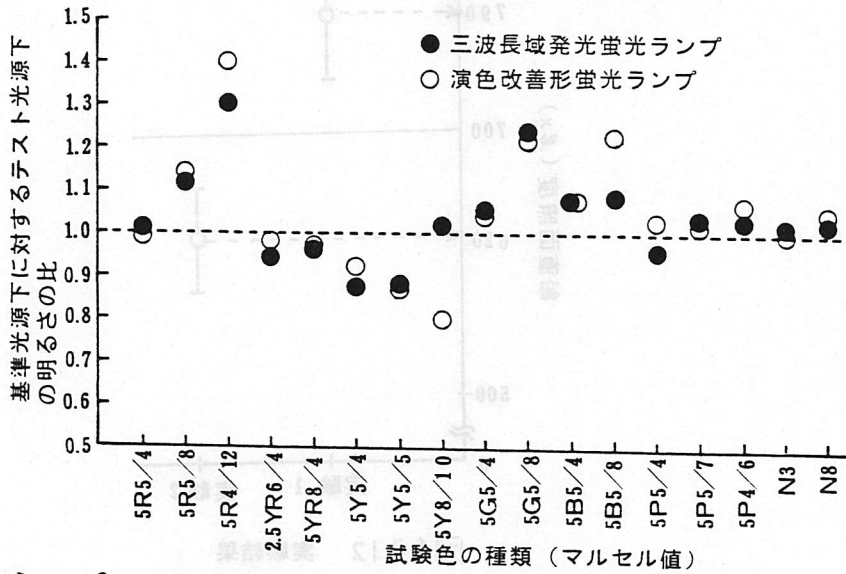


図4.3.9 基準光源下に対するテスト光源下の各試験色の明るさ知覚の評価結果 (数値で直接評価した場合)

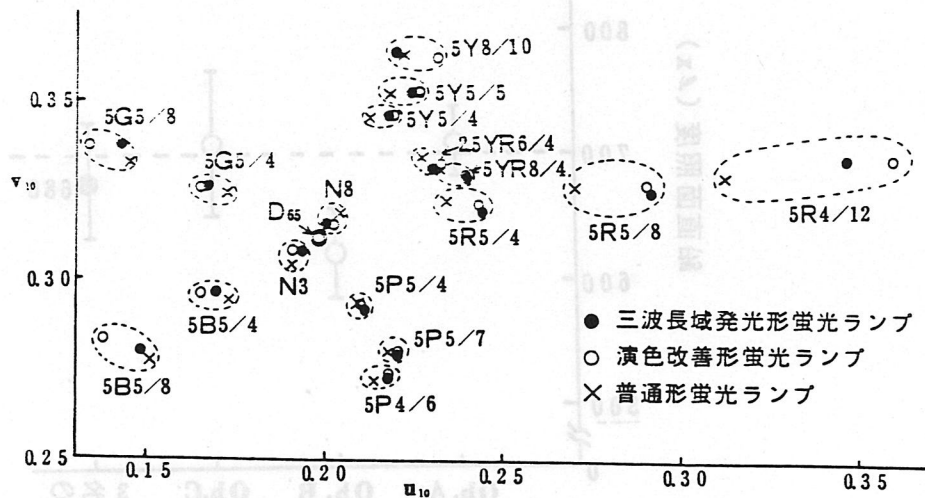
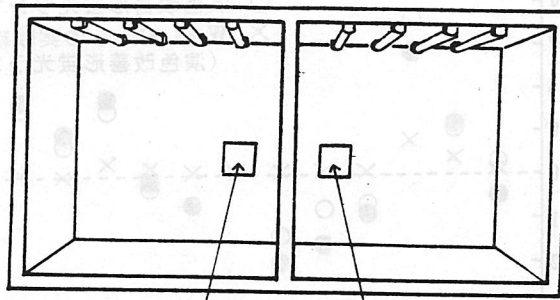


図4.3.10 各種蛍光ランプの照明下での各試験色の色度 (D_{65} 光源に色順応補正した場合)



皮膚色票 皮膚 (左頬の一部)

図4.3.11 実験装置

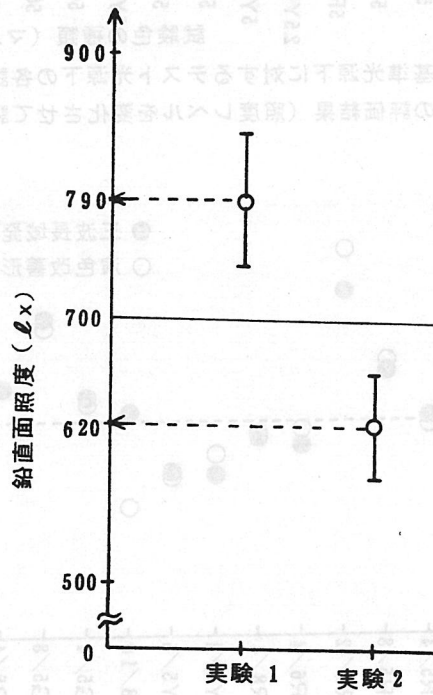


図4.3.12 実験結果

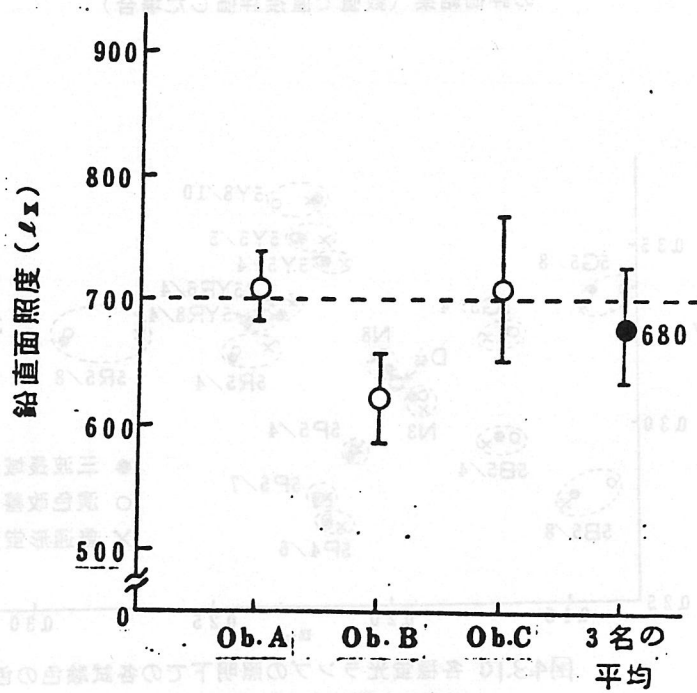


図4.3.13 実験結果

表4.3.1 実験に使用した蛍光灯の白熱電球の照明特性

| ランプの種類 | サイズ | 色度 | | 色温度 (K) | 演色評価数 | | | | | | | | | | 実験No |
|---------|-----|--------|--------|------------|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|--|------|
| | | x | y | | Ra | R9 | R10 | R11 | R12 | R13 | R14 | R15 | | | |
| 温白色 | — | 0.4043 | 0.3892 | 3500 | 57 | -104 | 33 | 31 | 36 | 51 | 93 | 38 | 実験1 | | |
| 白色 | A2 | 0.4034 | 0.4123 | 3700 | 61 | -99 | 37 | 38 | 47 | 56 | 93 | 40 | 実験2.1 | | |
| 白色 | — | 0.3815 | 0.3938 | 4100 | 63 | -100 | 39 | 40 | 48 | 57 | 95 | 41 | 実験1 | | |
| 昼光色 | A2 | 0.3457 | 0.3726 | 5050 | 75 | -52 | 63 | 65 | 75 | 73 | 96 | 57 | 実験2.1 | | |
| 昼光色 | — | 0.3222 | 0.3482 | 5950 | 77 | -48 | 64 | 68 | 76 | 74 | 97 | 59 | 実験1 | | |
| 自然白色 | A3 | 0.4190 | 0.4004 | 3300 | 92 | 91 | 79 | 94 | 79 | 95 | 90 | 97 | 実験2.1 | | |
| 自然白色 | — | 0.3691 | 0.3667 | 4250 | 89 | 93 | 75 | 92 | 80 | 94 | 89 | 95 | 実験2.1 | | |
| 自然昼白色 | — | 0.3575 | 0.3536 | 4800 | 92 | 89 | 75 | 91 | 81 | 92 | 90 | 94 | 実験2.1 | | |
| 自然色 | — | 0.3120 | 0.3243 | 6600 | 93 | 95 | 84 | 94 | 91 | 95 | 93 | 96 | 実験2.1 | | |
| 3波長域発光形 | — | 0.3518 | 0.3643 | 4800 | 84 | 40 | 45 | 69 | 53 | 93 | 67 | 97 | 実験2.2 | | |
| 白熱電球 | — | 0.4598 | 0.4109 | 2700 | 100 | 98 | 99 | 99 | 98 | 100 | 99 | 99 | 実験1 | | |

但し、各ランプの照明特性は乳白被覆板の分光透過率に依存して異なる。

表 4.3.2 実験に用いた高圧ナトリウムランプの照明特性

| ランプの種類 | 色 度 | | 色温度 (K) | 演色評価数 | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|----------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | λ | γ | | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | R ₅ | R ₆ | R ₇ | R ₈ | R ₉ | R ₁₀ | R ₁₁ | R ₁₂ | R ₁₃ | R ₁₄ | R ₁₅ |
| 高圧ナトリウムランプ(1) | 0.5282 | 0.4154 | 2000 | 23 | -201 | 47 | -33 | 34 | 20 | 69 | -1 | | | | | | | |
| 高圧ナトリウムランプ(2) | 0.5277 | 0.4270 | 2100 | 50 | -72 | 41 | -5 | 27 | 41 | 91 | 43 | | | | | | | |
| 高圧ナトリウムランプ(3) | 0.5168 | 0.4231 | 2150 | 70 | 11 | 53 | 26 | 44 | 62 | 96 | 73 | | | | | | | |
| 高圧ナトリウムランプ(4) | 0.4761 | 0.4172 | 2550 | 86 | 43 | 75 | 82 | 72 | 96 | 82 | 76 | | | | | | | |
| 高圧ナトリウムランプ(5) | 0.4452 | 0.4045 | 2850 | 68 | -58 | 96 | 80 | 93 | 76 | 75 | 43 | | | | | | | |
| 高圧ナトリウムランプ(6) | 0.4078 | 0.3900 | 3450 | 52 | -145 | 80 | 51 | 88 | 57 | 73 | 16 | | | | | | | |

但し、各ランプの照明特性は乳白拡散板の分光透過率に掛けたものである。

表4.3.3 実験に用いた色票

| | 低マンセルクロマ | 中～高マンセルクロマ |
|-----|--------------------|-----------------|
| 赤 | 5R 5/4 | 5R 5/8, 5R 4/12 |
| 黄 | 5Y 5/4, 5Y 5/5 | 5Y 5/8 |
| 緑 | 5G 5/4 | 5G 5/8 |
| 青 | 5B 5/4 | 5B 5/8 |
| 紫 | 5P 5/4 | 5P 4/6, 5P 5/7 |
| 肌色 | 2.5YR 6/4, 5YR 8/4 | |
| 無彩色 | N3, N8 | |

表4.3.4 各視対象物を用いた明るさ感の実験結果

| 視対象物 | 等明るさ感照度比 |
|------------|----------------|
| 人の顔 | $710/500=1.42$ |
| 皮膚(左頬の一部分) | $790/620=1.27$ |
| 皮膚色票 | $700/680=1.03$ |

表4.3.5

| ラニフの種別 | 横軸(X軸) | 縦軸(Y軸) (学習の感度) | 自覚確認(Has 先)の有無 | 相関係数(r) |
|-----------------------|--|-------------------|-------------------|---------|
| 松F (Fl, Ld, Mt) 計17種別 | $C_{uv}^*(P_{fs})$ | $E(Ld)/E(i)$ | 無 | 0.974 |
| " | $C_{ab}^*(P_{fs})$ | $E(Ld)/E(i)$ | 無 | 0.942 |
| " | $C_{uv,i}^*(P_{fs})/C_{uv,Ld}^*(P_{fs})$ | $E(Ld)/E(i)$ | 無 | 0.974 |
| " | $C_{ab,i}^*(P_{fs})/C_{ab,Ld}^*(P_{fs})$ | $E(Ld)/E(i)$ | 無 | 0.942 |
| " | $C_{uv}^*(P_{fs})$ | $E(w)/E(i)$ | 無 | 0.974 |
| " | $C_{ab}^*(P_{fs})$ | $E(w)/E(i)$ | 無 | 0.942 |
| " | $C_{uv,i}^*(P_{fs})/C_{uv,w}^*(P_{fs})$ | $E(w)/E(i)$ | 無 | 0.974 |
| " | $C_{ab,i}^*(P_{fs})/C_{ab,w}^*(P_{fs})$ | $E(w)/E(i)$ | 無 | 0.941 |
| " | $C_{uv}^*(P_{fs})$ | $E(Ld)/E(i)$ | 有 | 0.879 |
| " | $C_{ab}^*(P_{fs})$ | $E(Ld)/E(i)$ | 有 | 0.871 |
| " | $C_{uv,i}^*(P_{fs})/C_{uv,Ld}^*(P_{fs})$ | $E(Ld)/E(i)$ | 有 | 0.879 |
| " | $C_{ab,i}^*(P_{fs})/C_{ab,Ld}^*(P_{fs})$ | $E(Ld)/E(i)$ | 有 | 0.871 |
| " | $C_{uv}^*(P_{fs})$ | $E(w)/E(i)$ | 有 | 0.879 |
| " | $C_{ab}^*(P_{fs})$ | $E(w)/E(i)$ | 有 | 0.871 |
| " | $C_{uv,i}^*(P_{fs})/C_{uv,w}^*(P_{fs})$ | $E(w)/E(i)$ | 有 | 0.879 |
| " | $C_{ab,i}^*(P_{fs})/C_{ab,w}^*(P_{fs})$ | $E(w)/E(i)$ | 有 | 0.871 |

表 4.3.6

| ランプの種類 | 横軸(X軸) | 縦軸(Y軸) (写明3次元座標) | 色明瞭確証 (増光)の有無 | 相関係数(r) |
|----------------------|-------------------------|---------------------|------------------|---------|
| 松下(11種類)+軽(8種類)計19種類 | $C_{cur}^*(P_{15})$ | $E(W)/E(i)$ | 有 | 0.931 |
| " | $C_{ab}^*(P_{15})$ | " | 有 | 0.787 |
| " | $C_{cur}^*(P_9)$ | " | 有 | 0.927 |
| " | $C_{ab}^*(P_9)$ | " | 有 | 0.927 |
| " | $C_{cur}^*(P_8)$ 注1) | " | 有 | 0.421 |
| " | $C_{ab}^*(P_8)$ 注1) | " | 有 | 0.510 |
| " | $C_{cur}^*(P_4)$ 注2) | " | 有 | 0.674 |
| " | $C_{ab}^*(P_4)$ 注2) | " | 有 | 0.951 |
| " | $C_{cur}^*(P_{15})$ 注3) | " | 有 | 0.593 |
| " | $C_{ab}^*(P_{15})$ 注3) | " | 有 | 0.828 |
| " | $C_{cur}^*(P_{15})$ | " | 有 | 0.807 |
| " | $C_{ab}^*(P_{15})$ | " | 有 | 0.794 |
| " | $C_{cur}^*(P_9)$ | " | 有 | 0.932 |
| " | $C_{ab}^*(P_9)$ | " | 有 | 0.935 |
| " | $C_{cur}^*(P_8)$ 注1) | " | 有 | 0.816 |
| " | $C_{ab}^*(P_8)$ 注1) | " | 有 | 0.679 |
| " | $C_{cur}^*(P_4)$ 注2) | " | 有 | 0.940 |
| " | $C_{ab}^*(P_4)$ 注2) | " | 有 | 0.932 |
| " | $C_{cur}^*(P_{15})$ 注3) | " | 有 | 0.932 |
| " | $C_{ab}^*(P_{15})$ 注3) | " | 有 | 0.884 |

注1) $C_{cur}^*(P_8) = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 C_{cur}^*(P_i)$, $C_{ab}^*(P_8) = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 C_{ab}^*(P_i)$

注2) $C_{cur}^*(P_4) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 C_{cur}^*(P_i)$, $C_{ab}^*(P_4) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 C_{ab}^*(P_i)$

注3) $C_{cur}^*(P_{15}) = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} C_{cur}^*(P_i)$, $C_{ab}^*(P_{15}) = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} C_{ab}^*(P_i)$

表4.3.7

| ラングの種類 | 横軸(入軸) | 縦軸(出軸) (等明感感照度比) | 色感(補正(色光)の有無) | 相関係数(r) |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------|---------|
| 中(8種類)+三(6種類)計14種類 | $C_{uv}^*(\beta_9)$ | $E(W)/E(\lambda)$ | 無 | 0.246 |
| " | $C_{ab}^*(\beta_9)$ | " | 無 | 0.260 |
| " | $C_{uv}^*(8)$ 注1) | " | 無 | 0.505 |
| " | $C_{ab}^*(8)$ 注1) | " | 無 | 0.452 |
| " | $C_{uv}^*(4)$ 注2) | " | 無 | 0.469 |
| " | $C_{ab}^*(4)$ 注2) | " | 無 | 0.286 |
| " | $C_{uv}^*(15)$ 注3) | " | 無 | 0.544 |
| " | $C_{ab}^*(15)$ 注3) | " | 無 | 0.395 |
| " | $C_{uv}^*(\beta_9)$ | " | 有 | 0.233 |
| " | $C_{ab}^*(\beta_9)$ | " | 有 | 0.249 |
| " | $C_{uv}^*(8)$ 注1) | " | 有 | 0.464 |
| " | $C_{ab}^*(8)$ 注1) | " | 有 | 0.486 |
| " | $C_{uv}^*(4)$ 注2) | " | 有 | 0.236 |
| " | $C_{ab}^*(4)$ 注2) | " | 有 | 0.234 |
| " | $C_{uv}^*(15)$ 注3) | " | 有 | 0.277 |
| " | $C_{ab}^*(15)$ 注3) | " | 有 | 0.322 |

注1) $C_{uv}^*(8) = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 C_{uv}^*(\beta_i)$, $C_{ab}^*(8) = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 C_{ab}^*(\beta_i)$
 注2) $C_{uv}^*(4) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 C_{uv}^*(\beta_i)$, $C_{ab}^*(4) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 C_{ab}^*(\beta_i)$
 注3) $C_{uv}^*(15) = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} C_{uv}^*(\beta_i)$, $C_{ab}^*(15) = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} C_{ab}^*(\beta_i)$

4.4 三菱実験

4.4.1 実験の目的

ランプのスペクトル特性が異なると、同じ照度で照明されていても異なった明るさを感じる、という演色的効果による明るさ感を定量化することを目的とする。実験にあたって、明るさ感をランプ固有の特性としてとらえ、JISの演色評価数のような汎用性のある指標としてあらわすためには、視対象物として色相的に偏りがなく、容易に入手できる一般性のあるもので行う必要があると考えられたため、演色評価色票を使用した。

4.4.2 実験1⁽⁴⁶⁾

4.4.2.1 実験装置

図4.4.1(1)示す観察ブースを2台並置し、向って左側の観察ブースは、試料ランプ側、右側の観察ブースは、参照ランプ(白色蛍光ランプ)側である。ブース内面はシナ合板上にN8ツヤ消塗装が施されている。ブース上部は白色塗装のエキスパンドメタルで仕切られており、このエキスパンドメタル上にランプが置かれている。また、観察者からランプが直接見えないように、光源部前面は暗幕でおおわれている。

実験に使用した視対象物を図4.4.2(1)に示す。色票は照明学会発行演色評価色票(R1~15)で、本報告では、R1~8の評価について述べる。

4.4.2.2 使用ランプ

表4.4.1において(E1-D)~(E1-IL)であり、(E1-W)が参照ランプである。ランプはFCL30を使用した。

4.4.2.3 照度条件

表4.4.2に示す照度段階で行った。調光は点滅によった。

4.4.2.4 観察条件

- 1回の実験での観察者数は2~4名
- 実験の繰り返し数 1回
- 参照側の照度段階の提示順はランダム化した。
- 順応 参照ランプと試料ランプの合成された光に順応
- 観察者へのインストラクション
 - ① この実験は蛍光ランプによる物の見え方を把握する実験です。
 - ② 観察ブースは1, 2の2種類あります。これから観察ブース2の照度を7段階に変化させますので、評価用紙にしたがって評価してください。
 - ③ 評価方法は該当するブース番号に○印をつける方法で行ってください。色票は明るさのみ評価してください。色票以外の物体は明るさ、色の自然さ、あざやかさ、好ましさの4項目について評価して下さい。その場合、花は花びらで、イチゴは葉の色で、ポスターはモデルのほほの部分で評価をお願いします。
 - ④ 照度設定後、2分間順応していただきます。その場合、ブース内を見ていただきます。2分経過しましたら指示しますので評価を開始してください。

4.4.2.5 観察者

表4.4.3 に示す観察者で、いずれも、当社社員である。

4.4.2.6 結果

○等明るさ感照度比の計算方法

上述の実験により、視対象物（色票）、照度段階、観察者ごとに回答された観察ブース番号が得られる。色票ごとに、参照側の観察ブースの方が明るく感じると回答した人数を参照ランプの照度段階ごとに集計し、観察者で除した値を、色票、照度段階ごとの評価点（S）とする。したがって、評価点（S）は参照ランプの観察ブースを回答した観察者の割合を示し、全員が参照側観察ブースを回答した場合1点、全員が試料側観察ブースを回答した場合0点となる。

各照度段階での照度に関するデータは、基準側の照度（ER）の試料側の照度（ET）に対する照度比（ER/ET）で表現する。

参照ランプと試料ランプの評価が同等となる照度比を等明るさ感照度比（ r_E ）と呼び、以下の方法で計算する。評価点（S）と照度比（ER/ET）の関係式を

$$S = a \times (ER/ET) + b$$

とし、これをモデル式として、回帰分析により、係数 a、b を計算する。回帰分析は照度段階のすべての水準範囲について行われ、最も有意性の高いものを採用する回帰式とする。有意性の判断は分散比（ F_0 ）を計算し、 F_0 と誤差の自由度から下表を参照して決定する。等明るさ感照度比（ r_E ）は $S = 0.5$ となる ER/ET の値として求められる。

上記の計算を色票 R1～8 について、試料ランプごとに行い、等明るさ感照度比を得る。

○等明るさ感照度比

表4.4.4 において (E1-D)～(E1-IL) が求める等明るさ感照度比である。

4.4.2.7 実験式

ランプ特性として、CIE 1976 L*u*v*空間においてプロットされる色票 R1～8 の点を結んで得られる 8 角形の面積（色域面積 G）を計算し、等明るさ感照度比（ r_E ）との関係を求める。 r_E は G が増加しても無制限に増加しないと考えられるため、ロジステック曲線をモデル式として、回帰分析を行う。

$$r_E = \frac{K}{1 + m \times \exp(-a \times G / 1000)}$$

$$K = 1.61$$

$$m = 23.1$$

$$a = 1.36$$

r_E と G の関係を図4.4.3 (1) に示す。

4.4.3 実験2⁽⁵⁴⁾

4.4.3.1 実験装置

実験に使用した観察ブースを図4.4.1(2)に示す。観察ブースは参照ランプ(白色蛍光ランプ)側と試料ランプ側に分かれ、観察者の視野にあたるブース内面はN5となっている。ランプは観察ブース天井に取付けられ、観察者からランプは直接見えない。観察ブース内には照度計が置かれ、色票位置での照度が所定の値となるようにコントロールされる。

実験に使用した視対象物は日本色研製演色評価色票(R1~15)であり、図4.4.2(2)に示すように、ブース内面と同じN5の台紙に貼付されている。本報告ではR1~8の評価について述べる。

4.4.3.2 使用ランプ

表4.4.1において、(E2-EX1)~(E2-W)であり、(E2-W)が参照ランプである。試料ランプは3波長域発光形蛍光ランプであり、表に示した特性値は観察ブースにおいて所定の照度が実現されるように調光した場合の値である。参照ランプについて、調光による色温度、Raの変化は最大1°K、および1であり、無視できると考えられる。

4.4.3.3 照度条件

表2に示す照度段階で行った、調光はサイリスタ調光器によった。

4.4.3.4 観察条件

- 1回の実験での観察者は1名
- 実験の繰り返し数 1回
- 試料側のランプ、および、参照側の照度段階はランダム化した。
- 順応 左眼は参照ランプに、右眼は試料ランプに順応。
順応時間は30秒以上
試料側ランプ、参照側照度変更の時は両方のブースを一度消灯したのち、所定のランプ照度を設定した。
- 観察者へのインストラクション
 - ① この実験は蛍光ランプによる色票の明るさ感を求める実験です。
 - ② これから観察ブースの照明条件を変化させますからR1~R15の色票それぞれについて、色票が明るく感じられるブースを右または左で回答してください。
 - ③ 観察は中央の仕切板に額をつけ、左眼で左のブースの、右眼で右のブースの中の色票を注視した状態で行い、回答してください、色票はこちらの指示ごとに順次めぐりながら観察してください。
 - ④ 全色票の観察が終了したら、色票をそろえて、ブース内にマークしてある位置に色票を置いてください。その場合、何も色票が貼っていない紙を一番上にしてください。
 - ⑤ 観察準備ができたら、その旨こちらにいらせてください、観察開始のこちらの指示があるまで、仕切板に額をつけ、左眼で左のブースを、右眼で右のブース内を見て

いてください。

4.4.3.5 観察者

表4.4.3 に示す観察者で、いずれも、当社社員である。

4.4.3.6 結果

○等明るさ感照度比の計算方法

実験1と同一方法で計算する

○等明るさ感照度比

表4.4.4 において (E2-EX1) ~ (E2-W) が求める等明るさ感照度比である。

4.4.3.7 実験式

ランプ特性として、CIE 1976 L* u* v* 空間においてプロットされる。色票R1~8の点を結んで得られる8角形の面積(色域面積G)の、JIS演色性評価方法に規定された基準光源によるR1~8の色域面積(G0)に対する比(GR=G/G0)を計算し、等明るさ感照度比(Γ_E)との関係を求める。

$$\Gamma_E = a \times GR + b$$

をとり、回帰分析を行う。

$$\Gamma_E = 2.11 \times GR - 0.559$$

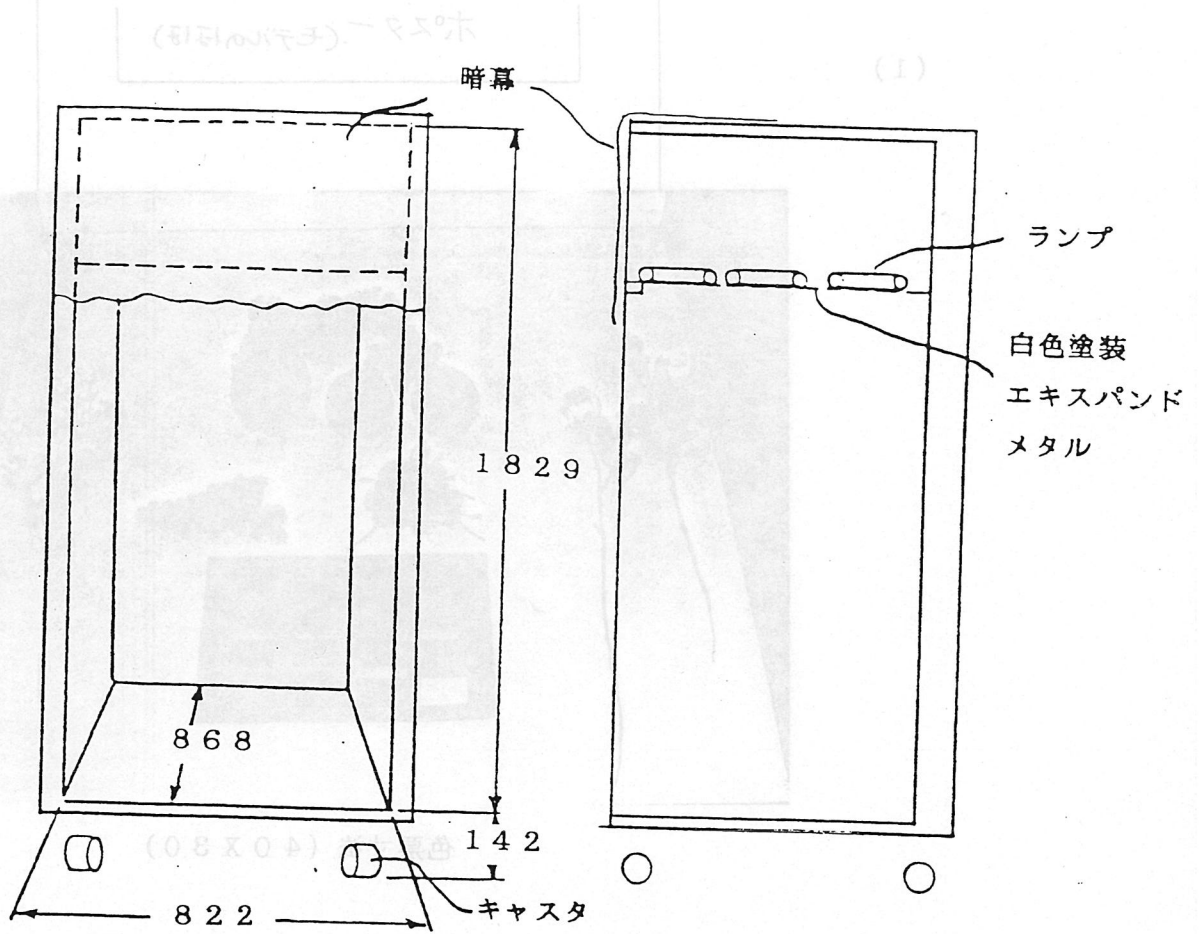
Γ_EとGRの関係を図4.4.3 (2)に示す。

4.4.4 考察

図4.4.4は実験2で求められた回帰直線上に、実験1で求められた等明るさ感照度比をプロットしたものである。図から、参照ランプ(E2-W)と色温度が比較的近い白色、昼白色に属するランプは、回帰直線近傍にプロットされ、色温度が大きく異なるランプについては回帰直線から離れた位置にプロットされている。これは実験1における順応が試料ランプと参照ランプの合成された光で行われたため、色温度の差異の効果があらわれたためと考えられる。しかし、白色、昼白色に属するランプについては参照ランプである白色蛍光ランプとの光色の差異が小さく、試料ランプと参照ランプの両方に順応して行った実験2と実験的に同等な意味をもつと考えられる。

また、明るさ感はあくまでも、照度が同一または低いにもかかわらず、あるランプで照明された部屋が他のランプで照明された部屋よりも明るく感じられるという比較の要素も含んでおり、また、第一印象の要素も大きいと考えられる。従って、完全にある光色に順応した定常状態のみの数値ではアプリケーションの分野において、人間の感覚と隔たったものになってしまう恐れがあると考えられる。

(1)



(2)

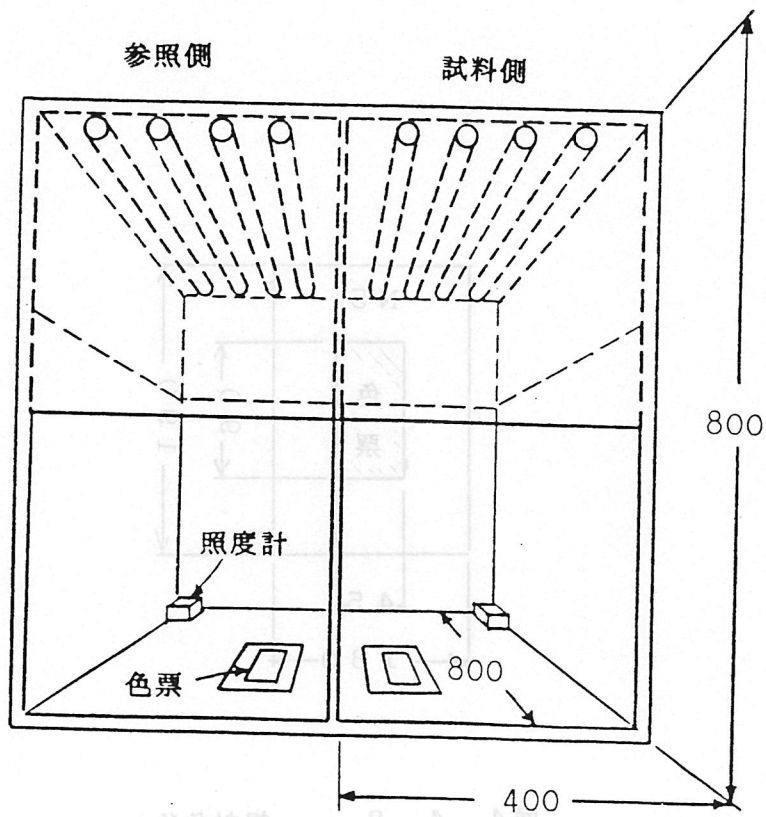
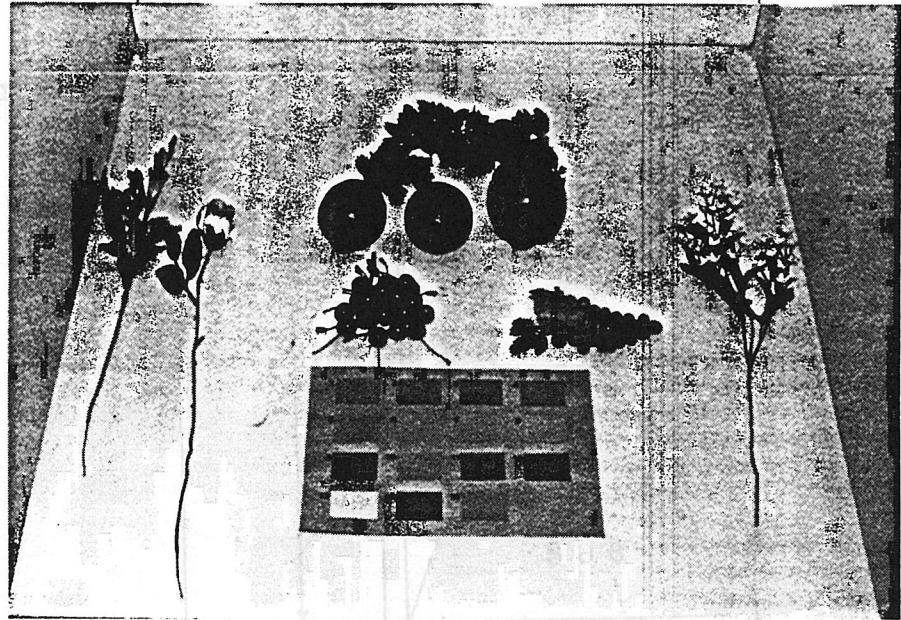


図4.4.1. 観察ブース

(1)

ポスター(モデルのほほ)

(1)



色票寸法 (40 X 30)

(2)

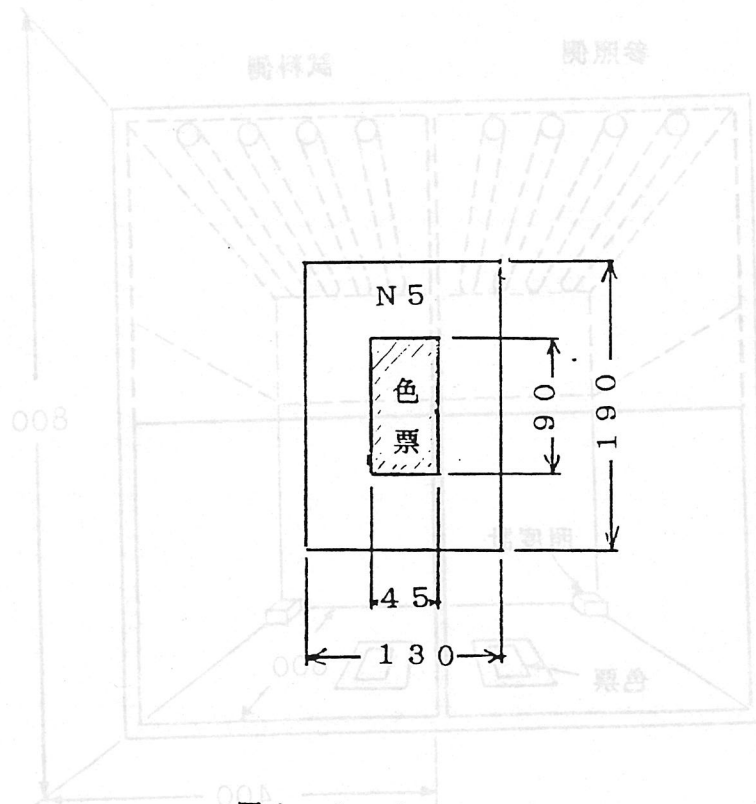


図4.4.2. 視対象物

表4.4.1. 使用ランプ

| ランプ | 色度 x | 色度 y | 色温度 (K) | Ra | Ri | | | | | | | |
|-----|---------|---------|------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
| A | E1-D | 0.3110 | 0.3487 | 6448 | 72 | -74 | 50 | 60 | 67 | 66 | 96 | 51 |
| B | E1-EX | 0.3426 | 0.3632 | 5125 | 84 | 18 | 45 | 67 | 55 | 89 | 72 | 90 |
| C | E1-EDL | 0.3461 | 0.3553 | 4972 | 95 | 82 | 88 | 89 | 91 | 95 | 96 | 95 |
| D | E1-WF | 0.3530 | 0.3555 | 4722 | 70 | -61 | 53 | 55 | 64 | 67 | 94 | 56 |
| E | E1-W | 0.3709 | 0.3873 | 4329 | 63 | -100 | 36 | 40 | 46 | 56 | 95 | 43 |
| F | E1-IL | 0.4470 | 0.4076 | 2864 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| A | E2-EX1 | 0.3067 | 0.3351 | 6770 | 76 | 8 | 30 | 59 | 47 | 82 | 70 | 84 |
| B | E2-EX2 | 0.3348 | 0.3515 | 5400 | 81 | 19 | 40 | 65 | 51 | 90 | 70 | 91 |
| C | E2-EX3 | 0.4810 | 0.4269 | 2550 | 85 | -18 | 62 | 87 | 55 | 88 | 71 | 89 |
| D | E2-W | 0.3789 | 0.3833 | 4090 | 63 | -99 | 41 | 40 | 48 | 57 | 96 | 43 |

表4.4.2. 照度条件

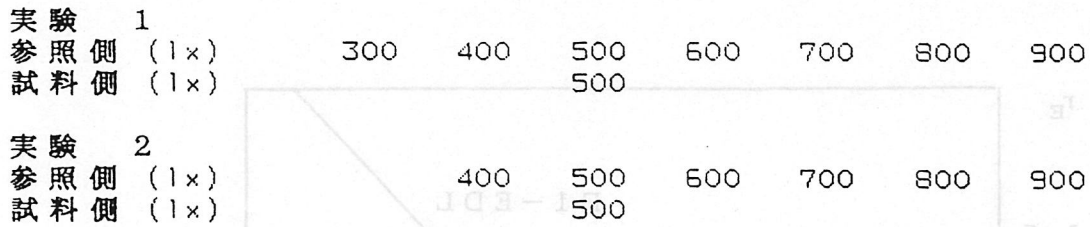


表4.4.3. 観察者

| 実験 | ランプ | 観察者人数 | | | 年代別 | | |
|----|------------|-------|---|----|-----|----|----|
| | | 男 | 女 | 計 | 20 | 30 | 40 |
| 1 | E1-D | 7 | 9 | 16 | 7 | 7 | 2 |
| | E1-EX | 9 | 9 | 18 | 8 | 5 | 5 |
| | E1-EDL | 10 | 6 | 16 | 7 | 6 | 3 |
| | E1-WF | 8 | 6 | 14 | 5 | 6 | 3 |
| | E1-IL | 13 | 0 | 13 | 5 | 4 | 4 |
| 2 | E2-EX1,2,3 | 10 | 2 | 12 | 3 | 4 | 5 |

表4.4.4. 等明るさ感照度比、色域面積、色域面積比

| ランプ | 等明るさ感照度比 r_E | 色域面積 G (K) | 色域面積比 GR |
|----------|----------------|------------|----------|
| A E1-D | 1.373 | 3382 | 0.736 |
| B E1-EX | 1.412 | 4021 | 0.924 |
| C E1-EDL | 1.503 | 4148 | 0.968 |
| D E1-WF | 1.347 | 3445 | 0.827 |
| E E1-W | 1.000 | 2710 | 0.687 |
| F E1-IL | 0.876 | 2501 | 0.997 |
| A E2-EX1 | 1.383 | - | 0.906 |
| B E2-EX2 | 1.509 | - | 0.951 |
| C E2-EX3 | 1.332 | - | 0.819 |
| D E2-W | 1.000 | - | 0.730 |

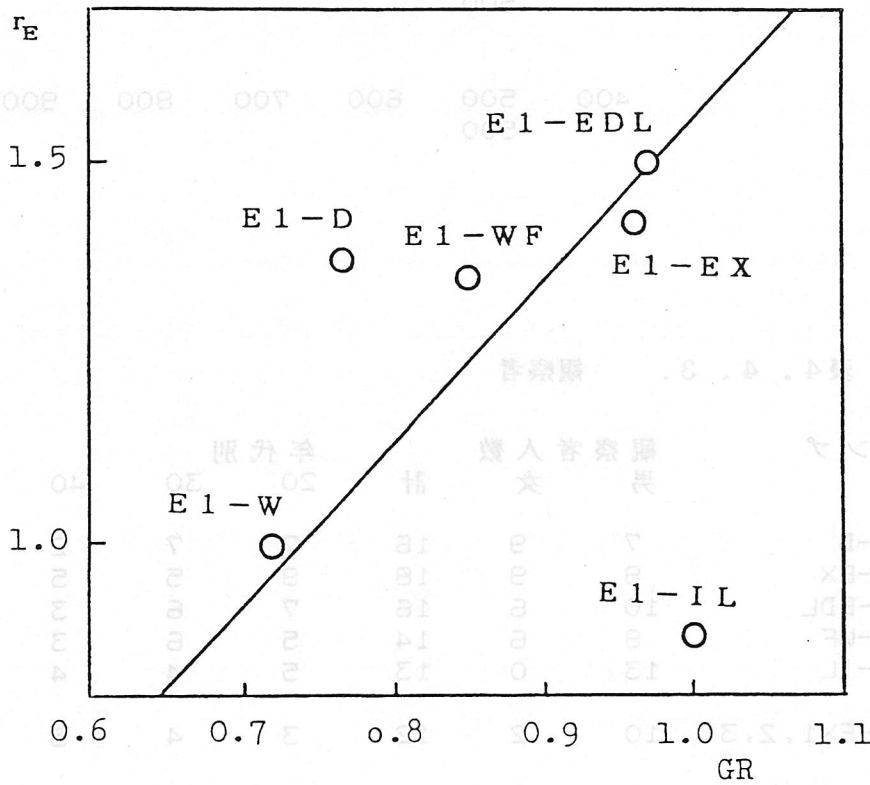
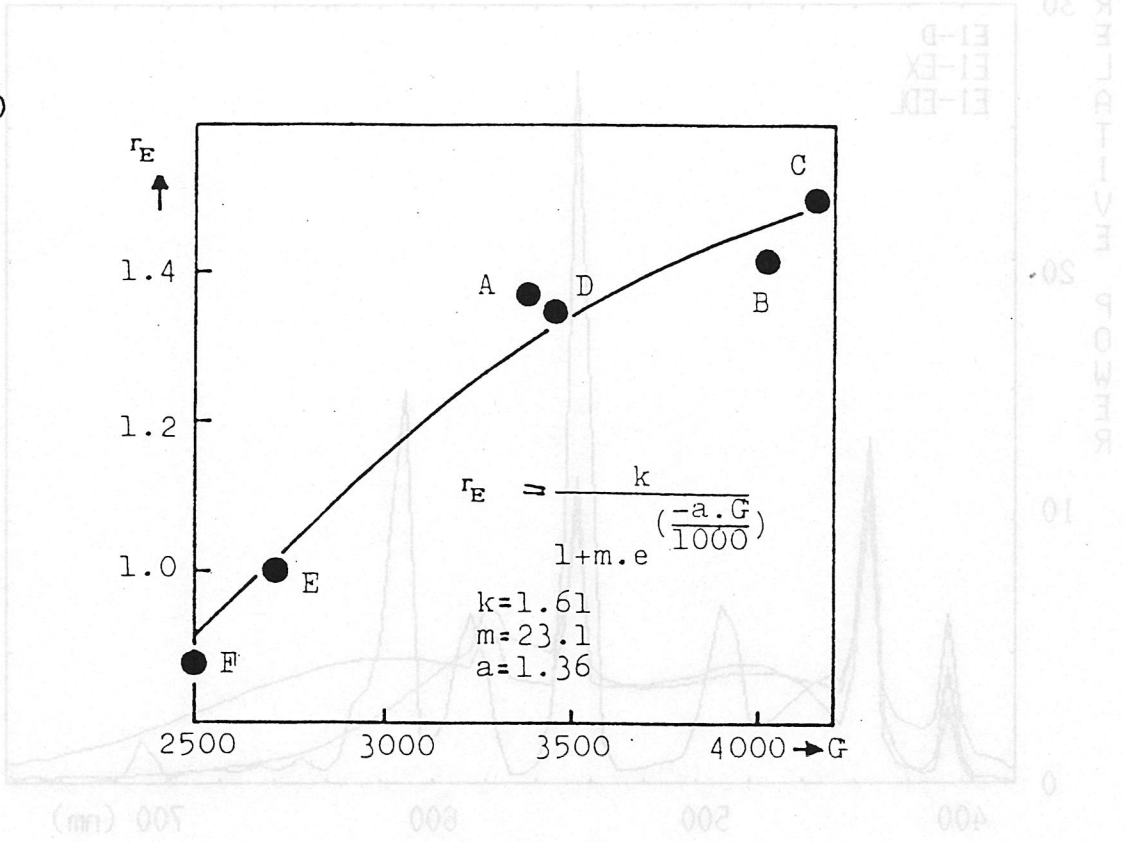


図4.4.4. 実験1と実験2との関連づけ

(1)



(2)

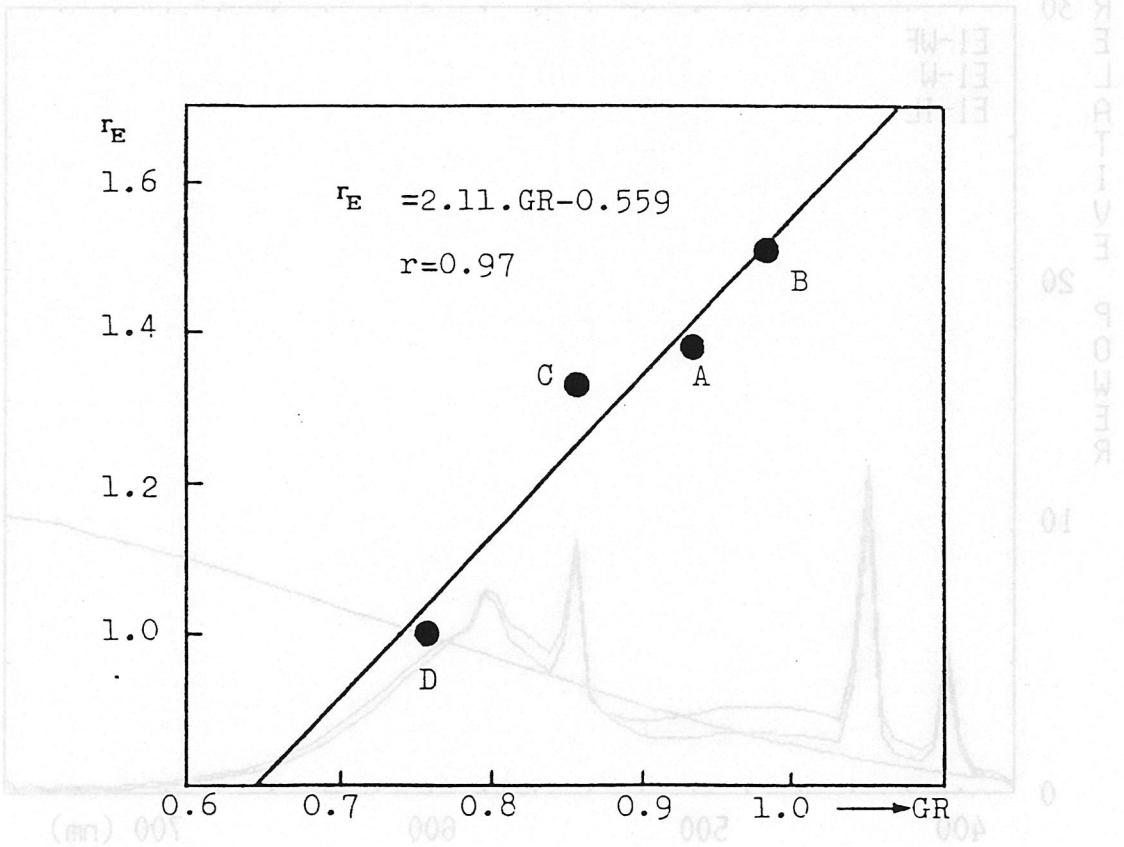
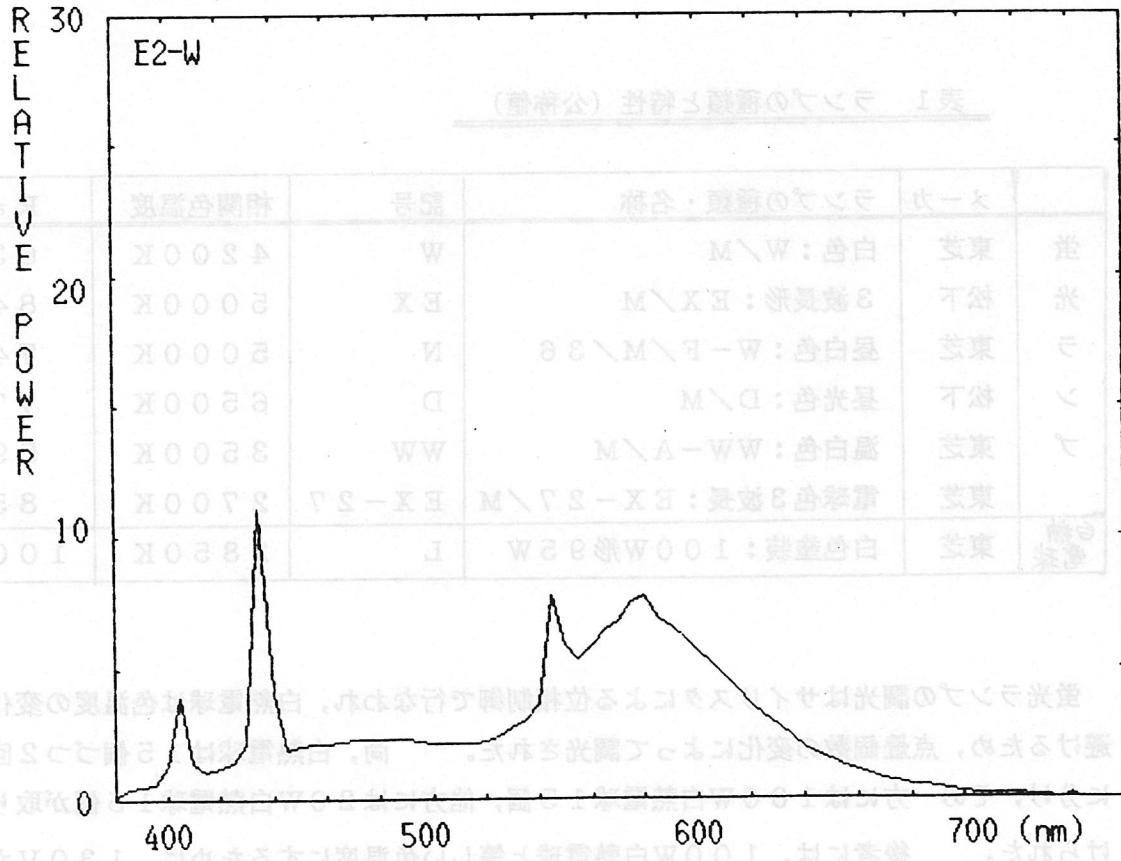
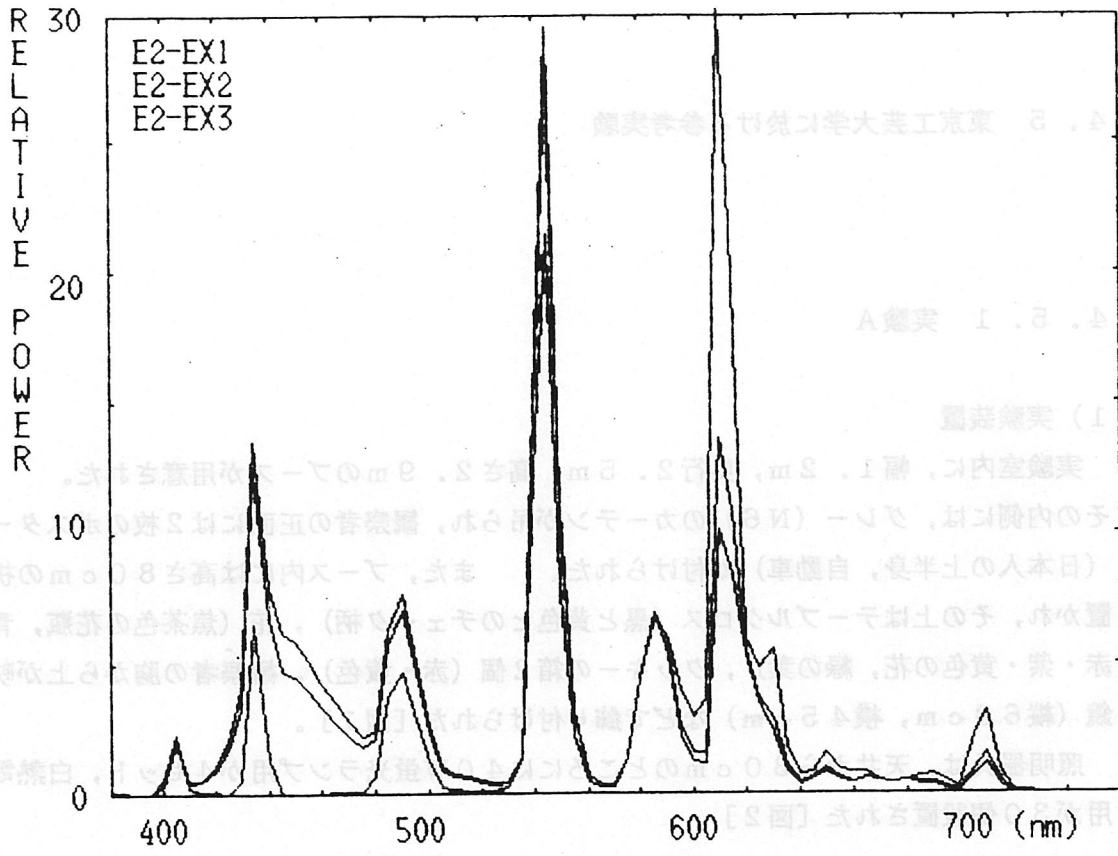


図4.4.3. ランプ特性と等明るさ感照度比との関係



| 品名 | 色 | ランプの仕様・用途 | メーカー | 差 |
|-------|-------|-----------|------|---|
| 4500K | W | M\W: 色白 | 東芝 | 差 |
| 5000K | EX | M\X: 色黄緑 | 松下 | 光 |
| 5000K | N | W-F\M\38 | 東芝 | 差 |
| 6500K | D | M\D: 色光 | 松下 | 光 |
| 8500K | WW | M\W-A\M | 東芝 | 差 |
| 2700K | EX-27 | EX-27\M | 東芝 | 差 |
| 850K | J | 100W95W | 東芝 | 差 |

4. 5 東京工芸大学に於ける参考実験

4. 5. 1 実験A

1) 実験装置

実験室内に、幅1.2m、奥行2.5m、高さ2.9mのブースが用意された。その内側には、グレー(N6)のカーテンが吊られ、観察者の正面には2枚のポスター(日本人の上半身、自動車)が付けられた。また、ブース内には高さ80cmの机が置かれ、その上はテーブルクロス(黒と黄色とのチェック柄)、花(焦茶色の花瓶、青・赤・紫・黄色の花、緑の葉)、クッキーの箱2個(赤・黄色)、観察者の胸から上が映る鏡(縦60cm、横45cm)などで飾り付けられた[図1]。

照明器具は、天井から30cmのところくに40W蛍光ランプ用が4セット、白熱電球用が30個設置された[図2]。

表1 ランプの種類と特性(公称値)

| | メーカー | ランプの種類・名称 | 記号 | 相関色温度 | Ra |
|-----------------------|------|----------------|-------|-------|-----|
| 蛍 光 ラ ン プ | 東芝 | 白色:W/M | W | 4200K | 63 |
| | 松下 | 3波長形:EX/M | EX | 5000K | 84 |
| | 東芝 | 昼白色:W-F/M/36 | N | 5000K | 74 |
| | 松下 | 昼光色:D/M | D | 6500K | 77 |
| | 東芝 | 温白色:WW-A/M | WW | 3500K | 59 |
| | 東芝 | 電球色3波長:EX-27/M | EX-27 | 2700K | 85 |
| 白 熱 電 球 | 東芝 | 白色塗装:100W形95W | L | 2850K | 100 |

蛍光ランプの調光はサイリスタによる位相制御で行なわれ、白熱電球は色温度の変化を避けるため、点灯個数の変化によって調光された。尚、白熱電球は15個づつ2回路に分け、その一方には100W白熱電球15個、他方には20W白熱電球15個が取り付けられた。後者には、100W白熱電球と等しい色温度にするために、130Vが印加され、主に照度の微調節に用いられた。

調光装置の操作盤を図3に示す。

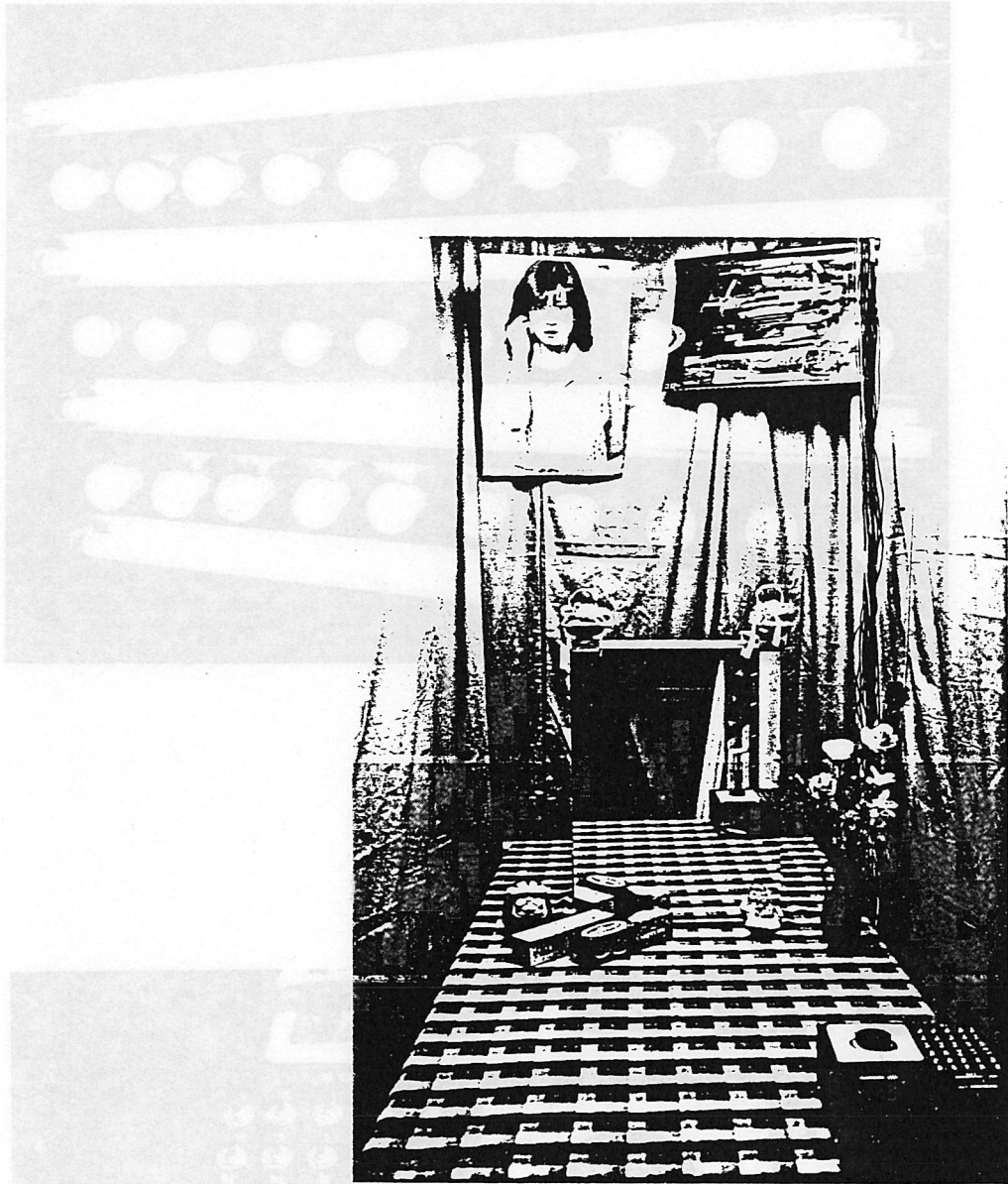


図1 飾り付けられたブース内の様子

装飾の配置図 図

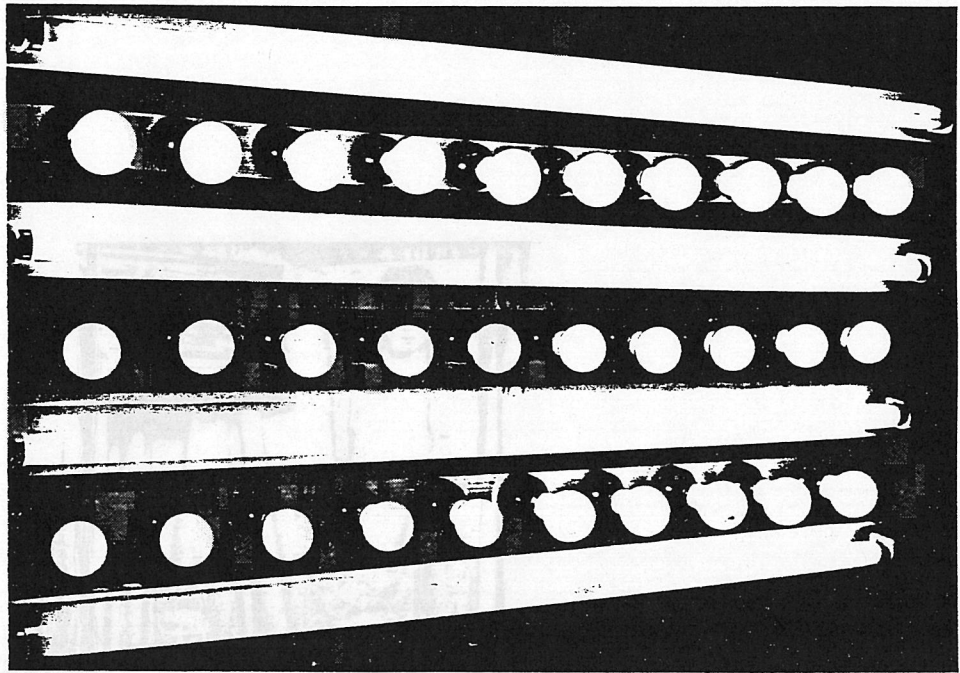


図2 照明器具

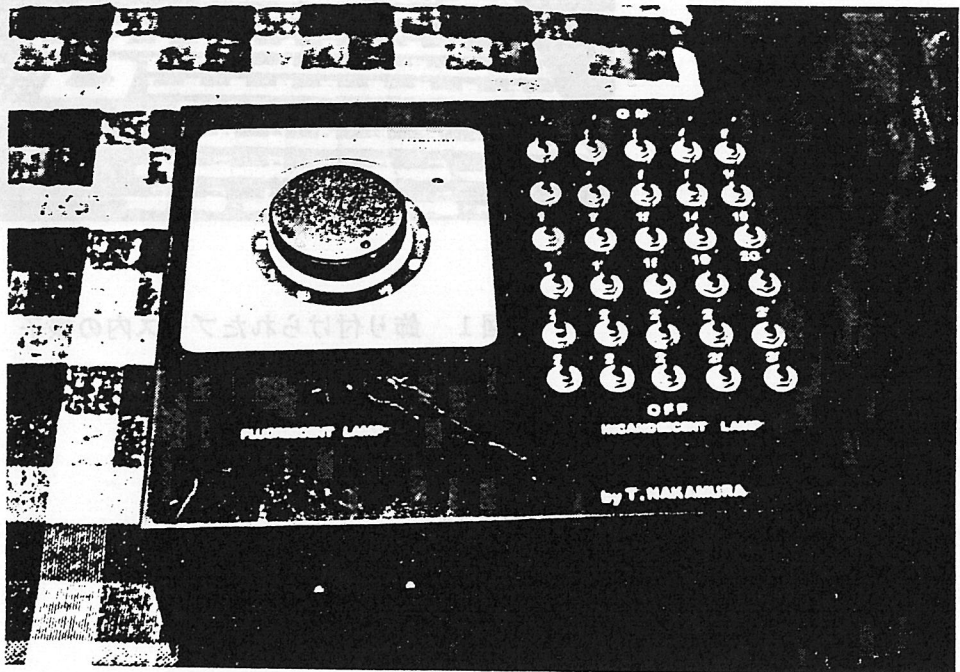


図3 調光装置の操作盤

2) 使用ランプ

実験に使用したランプの種類と諸特性（公称値）とを，表1に示した。

3) 観察条件

観察者が1人ずつブース内に入り，これから実験するランプの机上水平面照度325 lxの照明光に，1分間の順応を行なう。その後，観察者自身が，「このような部屋で生活するとしたら，最低限これだけの明るさがなくては不相当だ」と思われる照度に調光する。そのときの机上水平面照度を検者が測定する。

以上のプロセスを，ランプにより，1回から4回の範囲で繰り返した。

4) 観察者

観察者は，男性4名，女性2名の合計6名で，いずれも色覚正常な本学学生及び教員であった。この6名の内，4名はこの種の実験は今回が初めてで，照明に関する知識もない者であった。尚，観察者の年齢は，下に示すとうりであった。

男・・・19歳（2名），23歳，64歳

女・・・18歳，19歳

5) 結果

4.5.3 実験C の 5) 結果 の項に合せて示した。

4.5.2 実験B

1) 実験装置

実験Aと同一のブースの内側に，同一のカーテン（N6）が吊られ，また同一の机が置かれた。その上には，実験Aと同一の鏡が，観察者の胸から上が映るように置かれたが，実験Aの場合よりも観察者に近付けて，大きく映るようにされた。

照明器具及び調光装置は，実験Aと全く同一であった。

2) 使用ランプ

実験Aに使用したランプ（表1）の昼光色蛍光ランプFLR40S・D/Mを除く総てのランプについて実験を行なった。それらの諸特性（公称値），記号及びメーカーは，表1に示した通りである。

3) 観察条件

観察者が1人ずつブースに入り、これから実験を行なおうとするランプの机上水平面照度300 lxの照明光に、1分間順応する。その後、鏡に映る観察者自身の顔が、事務所で会話する相手の顔だとした場合に、最低限必要であると感じられる顔の明るさに調光する。そのときの机上水平面照度を、検者が測定する。

以上のプロセスを、ランプにより、1回から3回の範囲で繰り返した。

4) 観察者

観察者は、男性3名、女性1名の合計4名で、いずれも色覚正常な本学学生及び教員であった。この4名のうち、2名はこの種の実験は今回が初めてであり、また他の2名は、実験Aと同一観察者であった。尚、観察者の年齢は、下に示すとおりであった。

男・・・22歳，23歳，64歳

女・・・21歳

5) 結果

4.5.3 実験C の 5) 結果 の項に合せて示した。

4.5.3 実験C

1) 実験装置

実験Aと同一のブースの内側に、同一のカーテン(N6)が吊られ、また同一の机が置かれた。その上には、新聞紙が観察者の読みやすい位置に置かれた。

照明器具及び調光装置は、実験Aと全く同一であった。

2) 使用ランプ

実験Aで使用したランプ(表1)に等しい。

3) 観察条件

観察者が1人ずつブースに入り、これから実験を行なおうとするランプの机上水平面照度325 lxの照明光に、1分間順応する。その後、観察者自身が普通に新聞を読む場合に、最低限必要であると感じられる明るさに調光する。そのときの机上水平面照度を検者が測定する。

以上のプロセスを、ランプにより、1回から3回の範囲で繰り返した。

4) 観察者

観察者は、男性5名、女性2名の合計7名で、いずれも色覚正常な本学学生及び教員であった。この4名のうち、1名はこの種の実験は今回が初めてであり、また他の6名は、実験Aと同一観察者であった。尚、観察者の年齢は、下に示すとおりであった。

男・・・19歳(3名), 23歳, 64歳

女・・・19歳(2名)

5) 結果

実験A, B, Cのデータを、それぞれ表2, 3, 4に示した。

ランプごとに各観察者の照度データの平均値を求め、白色蛍光ランプWの平均照度を各ランプの平均照度で割った値を、それぞれのランプの等明るさ感照度比とした。表中の平均値欄下段に示されている値がそれである。

表2 霧田気実験のデータ [実験A]

注) 照度は、1回から4回の繰り返しの平均値である。

| | | MYA | MTA | MMY | FYH | FKA | MGK | 平均値 |
|-----------|--------|------|------|------|------|------|------|--------|
| W | 照度(lx) | 238 | 245 | 323 | 12 | 460 | 563 | 307 |
| | 比 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1.00) |
| N | 照度(lx) | 250 | 255 | 420 | 8 | 245 | 395 | 262 |
| | 比 | 0.95 | 0.96 | 0.77 | 1.50 | 1.28 | 1.43 | (1.17) |
| D | 照度(lx) | 233 | 285 | 400 | 25 | 210 | 525 | 280 |
| | 比 | 1.02 | 0.36 | 0.81 | 0.43 | 2.19 | 1.07 | (1.10) |
| EX | 照度(lx) | 213 | 208 | 288 | 39 | 325 | 473 | 258 |
| | 比 | 1.12 | 1.18 | 1.12 | 0.21 | 1.42 | 1.19 | (1.19) |
| L | 照度(lx) | 525 | 223 | 395 | 23 | 683 | 308 | 360 |
| | 比 | 0.45 | 1.10 | 0.92 | 0.52 | 0.67 | 1.23 | (0.93) |
| WW | 照度(lx) | | 358 | | 28 | 493 | 500 | 331 |
| | 比 | | 0.68 | | 0.43 | 1.05 | 1.13 | (0.93) |
| EX -27 | 照度(lx) | | 308 | | 22 | 605 | 332 | 317 |
| | 比 | | 0.90 | | 0.55 | 0.76 | 1.70 | (0.97) |

表3 顔の明るさを見る実験のデータ [実験b]

注) 照度は1回から3回の繰り返しの平均値である。

| | | MTA | FMN | MGK | MTN | 平均値 |
|----------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| W | 照度 (1 x) 比 | 210 1.00 | 380 1.00 | 585 1.00 | 395 1.00 | 393 (1.00) |
| N | 照度 (1 x) 比 | 174 1.21 | 528 0.72 | 465 1.26 | 300 1.32 | 367 (1.07) |
| EX | 照度 (1 x) 比 | 93 2.26 | 450 0.84 | 515 1.14 | 350 1.13 | 352 (1.12) |
| L | 照度 (1 x) 比 | 151 1.39 | 288 1.32 | 557 1.05 | 410 0.96 | 352 (1.12) |
| WW | 照度 (1 x) 比 | 297 0.71 | | 365 1.60 | 440 0.90 | 367 (1.07) |
| EX 27 | 照度 (1 x) 比 | 212 0.99 | | 344 1.70 | 469 0.84 | 342 (1.15) |

表4 可読度実験のデータ [実験C]

注) 照度は、1回から3回の繰り返しの平均値である。

| | | MMY | FYH | FKA | MTA | MGK | MYA | MIN | 平均値 |
|----------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| W | 照度 (1 x) 比 | 287 1.00 | 281 1.00 | 410 1.00 | 459 1.00 | 312 1.00 | 280 1.00 | 110 1.00 | 306 (1.00) |
| N | 照度 (1 x) 比 | 298 0.96 | 292 0.96 | 460 0.89 | 400 1.15 | 320 0.98 | 320 0.88 | 103 1.07 | 313 (0.98) |
| D | 照度 (1 x) 比 | 368 0.78 | 375 0.75 | 240 1.71 | 432 1.06 | 419 0.74 | 270 1.04 | 158 0.70 | 323 (0.95) |
| EX | 照度 (1 x) 比 | 350 0.82 | 290 0.97 | 361 1.14 | 420 1.09 | 267 1.17 | 250 1.12 | 106 1.04 | 292 (1.05) |
| L | 照度 (1 x) 比 | 405 0.71 | 376 0.75 | 498 0.82 | 355 1.29 | 316 0.99 | 377 0.74 | 132 0.83 | 315 (0.87) |
| WW | 照度 (1 x) 比 | | 260 1.08 | 419 0.98 | 381 1.20 | 280 1.11 | | 159 0.69 | 300 (1.02) |
| EX 27 | 照度 (1 x) 比 | | 292 0.96 | 445 0.92 | 380 1.21 | 215 1.45 | 438 0.64 | 109 1.01 | 313 (0.98) |

また、それぞれの比の値を、実験A、Bに関しては、観察者、ランプ及び繰り返しの元で、実験Cに関しては、観察者及びランプの元で、それぞれ3元配置法、2元配置法により分散分析を行なった結果を、表5に示した。尚、WW及びEX-27に対しては、全く実験を行なっていない観察者、または繰り返しを行なっていない観察者がいるため、両ランプのデータは、分散分析からは除外した。

表5は、実験A及びBに於ては観察者間に有意な差があり、ランプ間には有意差が見られないことを物語っている。また、ランプ対観察者間に交互作用のあることがわかる。一方、実験Cに於ては、ランプ間、観察者間共に差がみられないようだ。

これらのことより、実験A及びBより求められた等明さ感照度比は、あくまでも計算上求められた値であり、それらの値は観察者により異なるので、有意なものであるとはいきれない。また、実験Cより求められた比も、ランプ間に有意な差があるとはいえない。引続き実験を行なう必要があると思われる。

また、各観察者の照度データの平均値とRaとの関係及び、相関色温度との関係を、図4、図5に示した。

図4において、一点鎖線で示したものが、実験B（顔の明るさ）より得たランプごとの平均値の回帰直線、二点鎖線で示したものが、実験C（可読度）より得たそれである。相関係数はそれぞれ -0.73 、 0.64 であった。

実験B（顔の明るさ）では、Raの大きなランプほど適正照度の低くなる傾向が、また実験C（可読度）では、それとは逆の傾向が表れている。尚、実験A（雰囲気）においては、ランプのRaによって適正照度の特定な傾向はなさそうだ（相関係数： 0.18 ）。

一方、図5によれば、実験A（雰囲気）では、破線（相関係数： -0.78 ）で示したように、色温度の高いランプほど適正照度が低くなっているが、実験B（顔の明るさ）及び実験C（可読度）では、相関係数がそれぞれ 0.41 、 -0.23 であり、特定な傾向は認められない。

しかし、実験A、B共に、5000Kのランプは適正照度が低目になる傾向があるようだ。

[川上元郎・荒井俊男]

表5 分散分析表

(a) 実験A

| | ハイホクワ | ジコウト | フアンフンサン | フンサンヒ |
|------------|-----------|------|---------|----------|
| ランプ (A) | 0.555412 | 3 | 0.1851 | 3.0356 |
| クリカエシ (B) | 0.003517 | 1 | 0.0035 | 0.0577 |
| カンサツシャ (C) | 4.644250 | 5 | 0.9288 | 15.2297* |
| (A)*(B) | 0.279617 | 3 | 0.0932 | 1.5282 |
| (B)*(C) | 0.590672 | 5 | 0.1181 | 1.9370 |
| (C)*(A) | 6.353550 | 15 | 0.4236 | 6.9450* |
| ゴサ (E) | 0.914837 | 15 | 0.0610 | |
| TOTAL | 13.341800 | 47 | | |

(b) 実験B

| | ハイホクワ | ジコウト | フアンフンサン | フンサンヒ |
|------------|----------|------|---------|----------|
| ランプ (A) | 0.227722 | 2 | 0.1139 | 2.4008 |
| クリカエシ (B) | 0.074821 | 1 | 0.0748 | 1.5776 |
| カンサツシャ (C) | 1.986180 | 3 | 0.6621 | 13.9596* |
| (A)*(B) | 0.105755 | 2 | 0.0529 | 1.1149 |
| (B)*(C) | 0.200844 | 3 | 0.0669 | 1.4116 |
| (C)*(A) | 1.582750 | 6 | 0.2638 | 5.5621* |
| ゴサ (E) | 0.284561 | 6 | 0.0474 | |
| TOTAL | 4.462640 | 23 | | |

(c) 実験C

| 要因 | 平方和 | 自由度 | 不偏分散 | 分散比 |
|-----|---------|-----|--------|-------|
| ランプ | 1136.3 | 4 | 284.08 | 0.807 |
| 観察者 | 3217.4 | 6 | 536.23 | 1.523 |
| 残差 | 8449.3 | 24 | 352.05 | |
| 計 | 12803.0 | 34 | | |

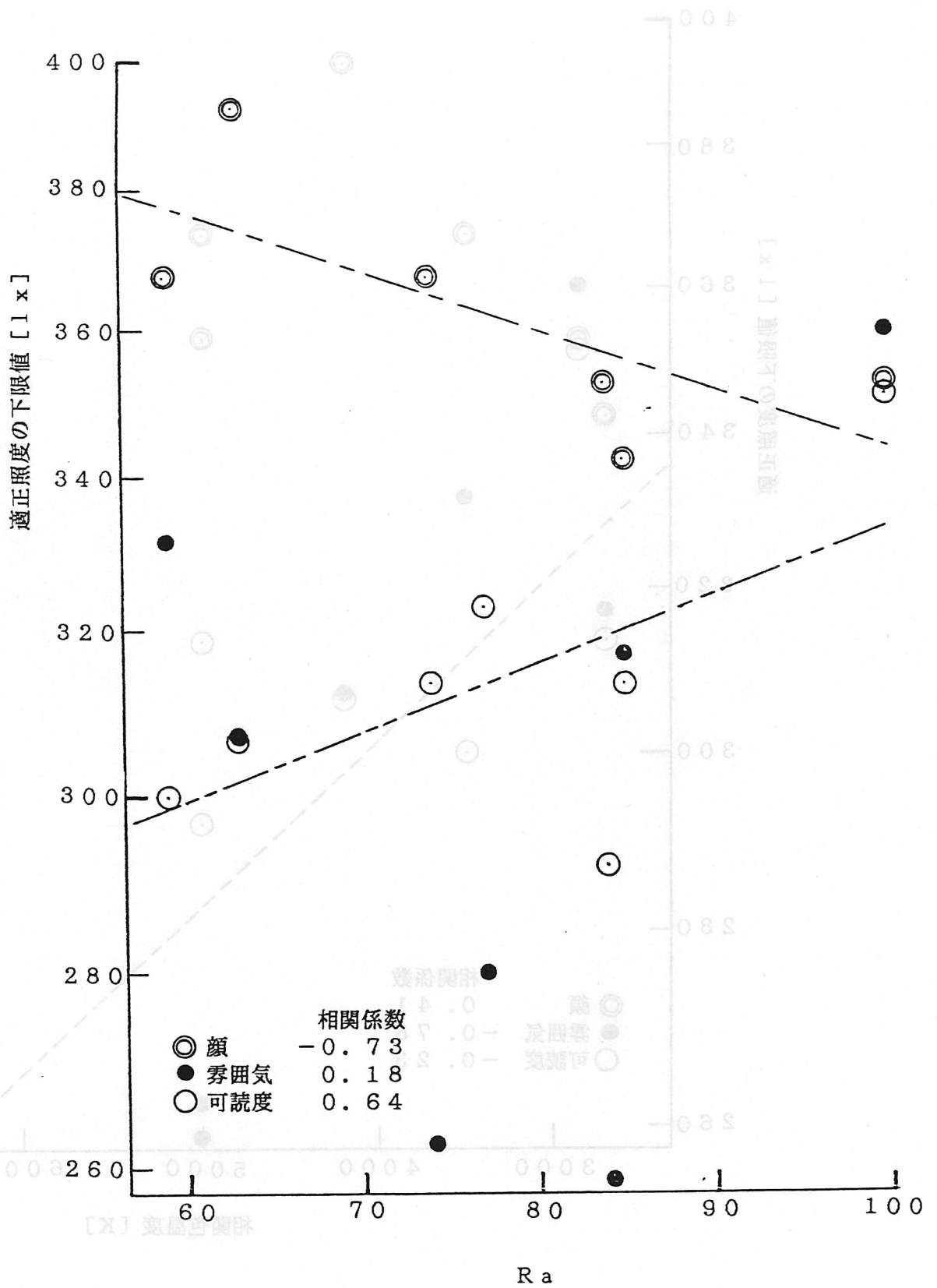


図4 Raと適正照度との関係

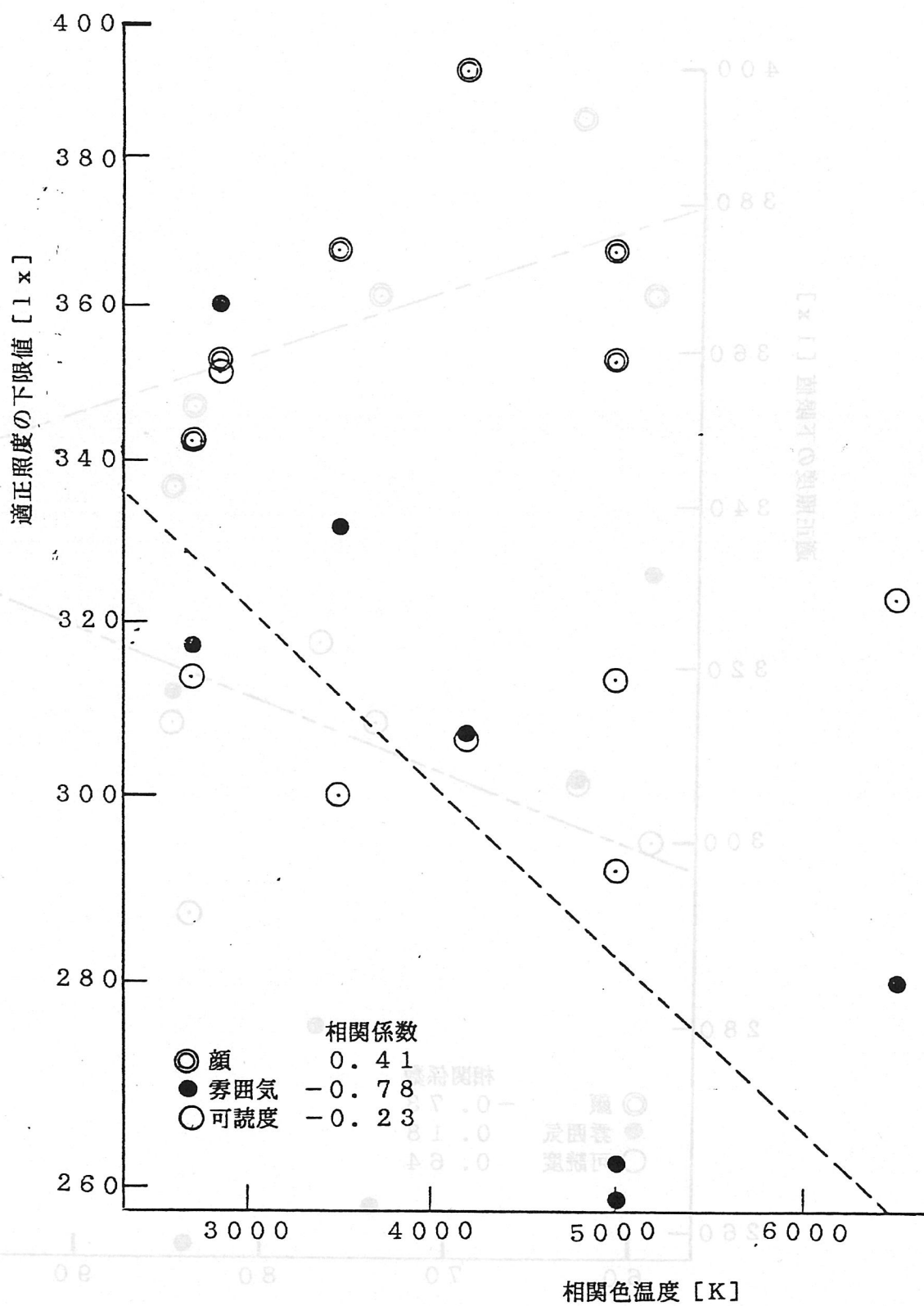


図5 相関色温度と適正照度との関係

第5章 実験式の導出

5.1 実験式導出の条件

第4章に報告された各所の実験結果をまとめて、できるだけ統一した共通実験式を求めることが本章の目的である。求める実験式の左辺は等明るさ感照度比 r_E で、右辺は試料光源の相対分光分布からCIE等色関数など明確に規定された数値を用いて計算される変数の簡単な関数とする。

ここで等明るさ感照度比 r_E とは通常の有彩色物体を含む空間を試料光源によって照度 E_k lxに照明した視環境を特定の条件で観察評価したときの明るさ感と、同等な空間を基準とする白色蛍光ランプによって照度 E_w lxに照明した視環境の明るさ感とが等しいとき、その照度比 E_w / E_k で定義する。

各所の実験で用いた視環境または視対象は個々に異なり、また観察評価の方法も多様である。従って細かく分類すれば全て個々に扱わなければならないが、委員会で審議の結果、次の条件の場合に大別して取扱うこととした。

- (1) それぞれの照明光に順応した状態で判定した場合。継時比較および両眼隔視（ハプロスコブ的）比較を含む。以下順応条件と略称する。
- (2) 併置した複数の視環境を共通な順応状態の目で同時にみて判定した場合。同時比較であって、以下併置比較と略称する。

両条件それぞれの実験式をまとめるために採用した実験データを表5.1および表5.

表5.1 順応条件実験式に採用した実験データ

| 実験機関、区分、光源、その他 | 等価照度比 r_E | 実験機関、区分、光源、その他 | 等価照度比 r_E |
|----------------|-------------|------------------|-------------|
| 松下、実験1 | | 東芝、実験B1, 2, 3, 4 | |
| 白色 | 1.000 | W (各実験共通) | 1.000 |
| 白色+A2 | 0.977 | EX50/1 (B1) | 1.389 |
| 昼光色 | 1.063 | EDL50 (B1) | 1.266 |
| 昼光色+A2 | 1.088 | D (B1) | 1.020 |
| 温白色 | 1.076 | EX50/1 (B2) | 1.316 |
| 自然白色 | 1.287 | EX50/1 (B3) | 1.370 |
| 自然白色+A3 | 1.410 | EX50/2 (B4) | 1.316 |
| 自然昼白色 | 1.357 | EX27 (B4) | 1.266 |
| 自然色 | 1.366 | 電球 (B4) | 1.471 |
| 3波長域発光形 | 1.438 | W.F (B4) | 1.136 |
| 電球 | 1.621 | | |
| 三菱、実験2 | | 広島工大、実験1 | |
| E2-W | 1.000 | W | 1.000 |
| E2-EX1 | 1.383 | D-SDL | 1.305 |
| E2-EX2 | 1.509 | EDL-42 | 1.684 |
| E2-EX3 | 1.332 | EDL-27 | 1.527 |
| | | D | 1.220 |
| | | WW-SF | 0.943 |
| | | EX | 1.076 |

2に示す。順応条件の実験データは比較的十分にあつて、第4章のデータの中でこの条件に合うと考えられるものを選んだだけで32点のそれぞれ複数観察者についての平均的な等明るさ感照度比のデータが得られた。一方、併置比較のデータは少ないので、第4章からのデータに加えて、Astonら(1969)⁽³⁾、Bellchambersら(1972)⁽⁵⁾の文献(第3章参照)の図から読みとったデータ4点を加えた。彼らの文献ではもっと多くの光源間の比較を行なっているが、われわれが扱っている等明るさ感照度比実験では常に白色蛍光ランプを基準にしているので、これに相当する英国のDaylight蛍光ランプを基準にしているデータだけを採用した。

表5. 2 併置比較実験式に採用した実験データ

| 実験機関、区分、光源、その他 | 等価照度比 | 実験機関、区分、光源、その他 | 等価照度比 |
|----------------|-------|----------------------|-------|
| 三菱、実験1 | | 東芝、実験A | |
| E1-W | 1.000 | W | 1.000 |
| E1-D | 1.373 | EX50/1 | 1.333 |
| E1-EX | 1.412 | W-DLX | 1.481 |
| E1-EDL | 1.503 | THORN, Bellchambersら | |
| E1-WF | 1.347 | Daylight | 1.000 |
| E1-IL | 0.876 | Kolor-Rite | 1.429 |
| | | Kolor-Rite | 1.282 |
| | | Warm White | 0.917 |

5. 2 順応条件における等明るさ感照度比の実験式

表5. 1に示した順応条件における等明るさ感照度比と演色性に関する各種の指数との相関係数を表5. 3に示す。ここで各種係数は、CIEの $U^*V^*W^*$ 、 $L^*u^*v^*$ および $L^*a^*b^*$ 色空間に、色順応補正を行なわない場合と納谷の色順応補正式(新しいEstevesの原色を採用)を適用した場合とについて、各種のメトリッククロマおよび色域面積に関する量ならびにそれらを組合せた量である。表5. 3の中で最高の相関係数は、メトリッククロマのある種の加重平均を $U^*V^*W^*$ 色空間で順応補正なしに求めたもので、その値は0.840であ

表5. 3 順応条件の等明るさ感照度比と各種演色指数との相関係数

| 色空間 | 色順応補正式 | メトリッククロマ | | | 色域面積 | | | 合成加重平均 |
|-------------|--------|----------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | | 15色平均 | C*15 | 加重平均 | 中彩度8色 | 高彩度4色 | 8,4色平均 | |
| $U^*V^*W^*$ | なし | 0.808 | 0.737 | 0.840 | 0.283 | 0.337 | 0.321 | 0.449 |
| | 納谷 | 0.823 | 0.675 | 0.805 | 0.592 | 0.814 | 0.782 | 0.811 |
| $L^*u^*v^*$ | なし | 0.579 | 0.780 | 0.754 | 0.283 | 0.336 | 0.321 | 0.431 |
| | 納谷 | 0.790 | 0.636 | 0.813 | 0.592 | 0.814 | 0.782 | 0.808 |
| $L^*a^*b^*$ | なし | 0.703 | 0.565 | 0.731 | 0.738 | 0.689 | 0.727 | 0.765 |
| | 納谷 | 0.641 | 0.608 | 0.771 | 0.577 | 0.803 | 0.771 | 0.793 |

る。U*V*W*色空間はCIEで現在は勧告から取下げられた式であり、順応補正がないことも理論的には問題があるが、計算も簡単で全データに対する相関が最高となることから、この値による次の式を最適実験式として暫定的に推奨することとした。

$$r_{EA} = 1.16 \times \frac{\frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 C_{UVi,k}^* + \frac{1}{4} \sum_{i=9}^{12} C_{UVi,k}^* + C_{UV15,k}^*}{\frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 C_{UVi,w}^* + \frac{1}{4} \sum_{i=9}^{12} C_{UVi,w}^* + C_{UV15,w}^*} - 0.16 \quad (5.1)$$

ここで、 r_{EA} ：順応条件における等明るさ感照度比

$C_{UVi,k}$ ：試料光源 k による JIS 試験色 i の U*V*W*色空間におけるメトリッククロマ

$C_{UVi,w}$ ：基準の白色蛍光ランプ w による JIS 試験色 i の U*V*W*色空間におけるメトリッククロマ

この式による相関図を図 5. 1 に示す。

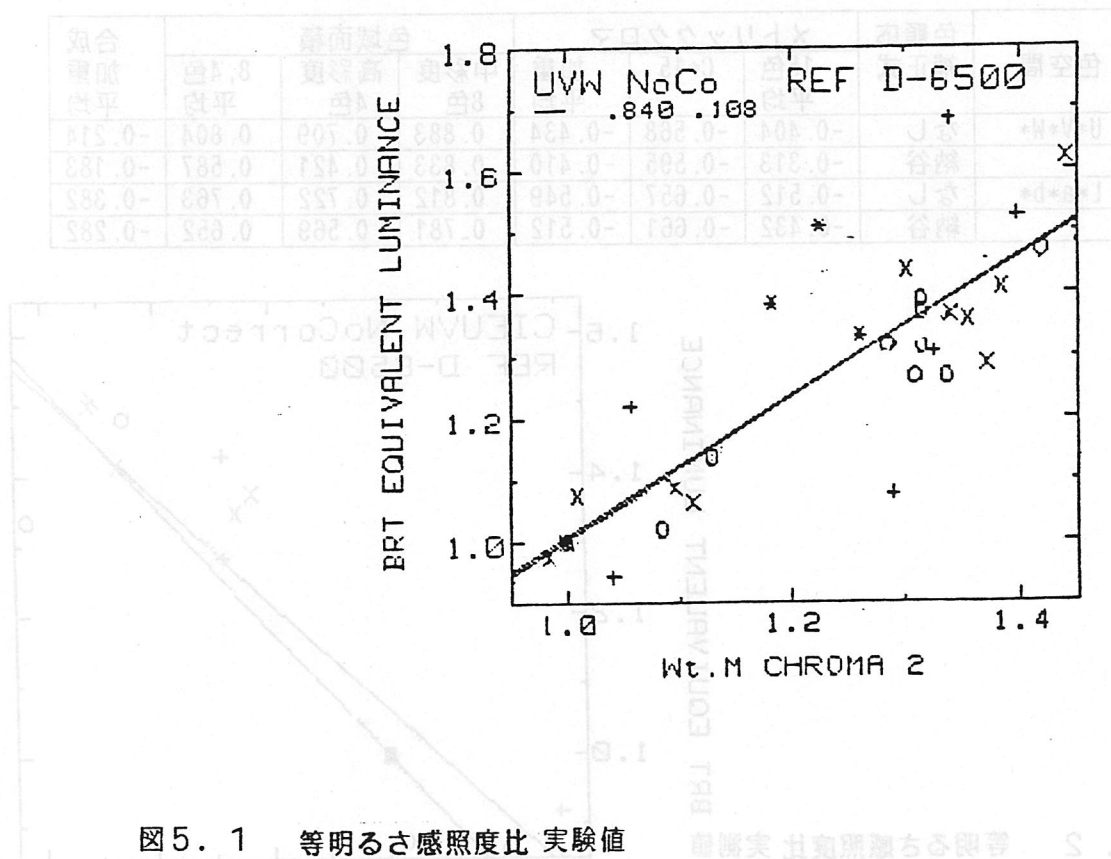


図 5. 1 等明るさ感照度比 実験値
(順応条件)と実験式(5.1)
との相関

5.3 併置比較における等明るさ感照度比の実験式

表5.2に示した併置条件における等明るさ感照度比と演色性に関する各種の指数との相関係数を表5.4に示す。この場合はJIS試験色1-8による色域面積をU*V*W*色空間で順応補正式なしに求めたものが最高の相関係数0.883を示す。この場合に推奨する実験式は次による。

$$r_{ES} = 0.88 \times \frac{U_{8,k}^* V_{1,k}^* - V_{8,k}^* U_{1,k}^* + \sum_{i=1}^7 (U_{i,k}^* V_{i+1,k}^* - V_{i,k}^* U_{i+1,k}^*)}{U_{8,w}^* V_{1,w}^* - V_{8,w}^* U_{1,w}^* + \sum_{i=1}^7 (U_{i,w}^* V_{i+1,w}^* - V_{i,w}^* U_{i+1,w}^*)} + 0.12 \quad (5.2)$$

ここで、 r_{ES} : 併置比較における等明るさ感照度比

U_{ik}^*, V_{ik}^* : 試料光源 kによるJIS試験色 iの $U^* V^*$ 座標

U_{iw}^*, V_{iw}^* : 基準の白色蛍光ランプ wによるJIS試験色 iの $U^* V^*$ 座標

この式による相関図を図5.2に示す。

表5.4 併置比較の等明るさ感照度比と各種演色指数との相関係数

| 色空間 | 色順応補正式 | メトリッククロマ | | | 色域面積 | | | 合成加重平均 |
|--------|--------|----------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| | | 15色平均 | C*15 | 加重平均 | 中彩度8色 | 高彩度4色 | 8,4色平均 | |
| U*V*W* | なし | -0.404 | -0.568 | -0.434 | 0.883 | 0.709 | 0.804 | -0.214 |
| | 納谷 | -0.313 | -0.595 | -0.410 | 0.833 | 0.421 | 0.587 | -0.183 |
| L*a*b* | なし | -0.512 | -0.657 | -0.549 | 0.812 | 0.722 | 0.763 | -0.382 |
| | 納谷 | -0.432 | -0.661 | -0.512 | 0.781 | 0.569 | 0.652 | -0.282 |

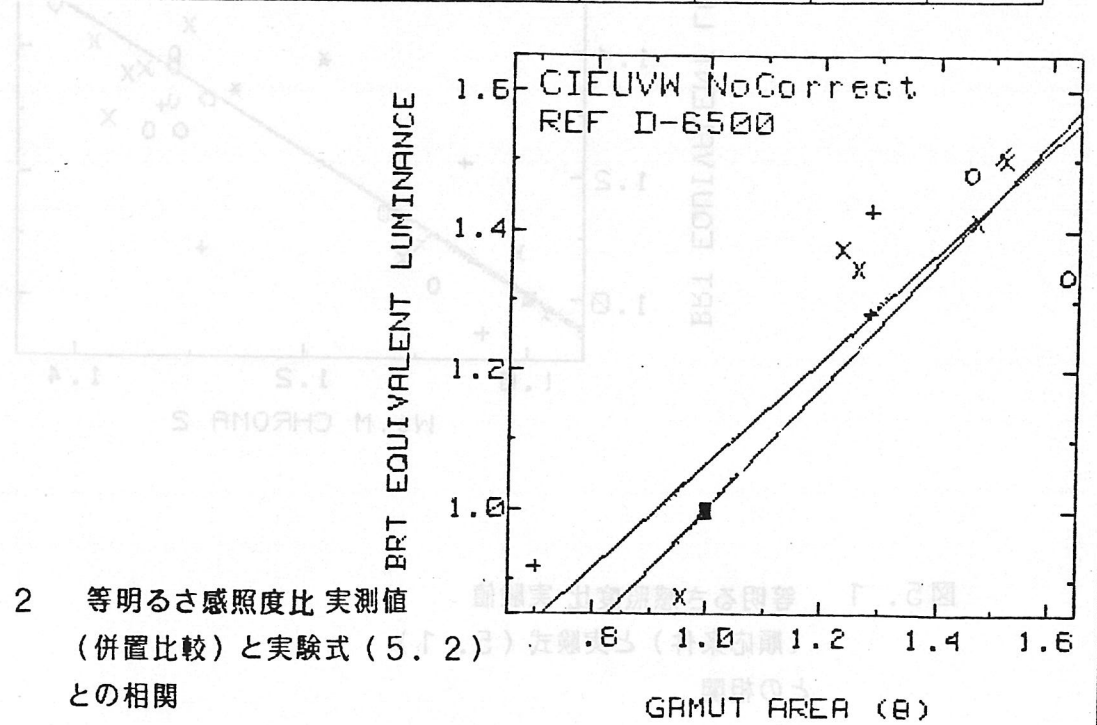


図5.2 等明るさ感照度比実測値(併置比較)と実験式(5.2)との相関

5.4 実験式の予測精度

上述した最高相関係数の値がある程度まで実験式(5.1)および(5.2)の予測精度を示している。しかしこれらの実験式は相関係数の回帰式ではなくて、基準の白色蛍光ランプのときに必ずrEが1.00になる式であって、この式に値から実験値の標準偏差は、式(5.1)で0.108、式(5.2)で0.115である。これらの値は実験条件がそろっているデータ郡に限るともっと小さくなるけれども、これらの式による一般的な等明るさ感照度比の予測精度は0.1に達しないと考えられる。特に式(5.2)については、実験データが少ないので予測式としてはまだ参考程度に考えるべきであろう。

5.5 基準の白色蛍光ランプの相対分光分布による実験式の簡略化

上述の実験式(5.1)および(5.2)を導出する場合には、基準の白色蛍光ランプの相対分光分布はすべて実験に使ったランプのデータを用いている。実際にそれらの間にはほとんど差はなかったが、実験式を予測式として使用する場合には用いる相対分光分布の値を規定しておく必要がある。これにはCIEで採用が決定し、JIS Z8719(物体色の条件等色度の評価方法)のF6として規定されている相対分光分布(表5.5)を用いるのが適当である。

以上のデータを用いると、式(5.1)および(5.2)の分母は定数になるので、これらの式は次のように簡略化できる。

順応条件

$$r_{EA} = 0.012 \left(\frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 c_{UVi,k}^* + \frac{1}{4} \sum_{i=9}^{12} c_{UVi,k}^* + c_{UV15,k}^* \right) - 0.16 \quad (5.3)$$

併置条件

$$r_{ES} = 0.000254 \left(u_{8,k}^* v_{1,k}^* - v_{8,k}^* u_{1,k}^* + \sum_{i=1}^7 (u_{i,k}^* v_{i+1,k}^* - v_{i,k}^* u_{i+1,k}^*) \right) + 0.12 \quad (5.4)$$

表5.1 基準の白色蛍光ランプの相対分光分布(CIE-F6)

| 1 F6 CIE TC-1.3 | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 380-90nm | | | | | | | 1.05 | 1.31 | 1.63 | 1.90 |
| 400-45nm | 3.11 | 14.80 | 3.43 | 3.30 | 3.68 | 4.07 | 4.45 | 32.61 | 10.74 | 5.48 |
| 450-95nm | 5.78 | 6.03 | 6.25 | 6.41 | 6.52 | 6.58 | 6.59 | 6.56 | 6.56 | 6.42 |
| 500-45nm | 6.28 | 6.20 | 6.19 | 6.30 | 6.60 | 7.12 | 7.94 | 9.07 | 10.49 | 25.22 |
| 550-95nm | 17.46 | 15.63 | 17.22 | 18.53 | 19.43 | 21.97 | 23.01 | 19.41 | 18.56 | 17.42 |
| 600-45nm | 16.09 | 14.64 | 13.15 | 11.68 | 10.25 | 8.95 | 7.74 | 6.69 | 5.71 | 4.87 |
| 650-95nm | 4.16 | 3.55 | 3.02 | 2.57 | 2.20 | 1.87 | 1.60 | 1.37 | 1.29 | 1.05 |
| 700-45nm | .91 | .81 | .71 | .61 | .54 | .48 | .44 | .43 | .40 | .37 |
| 750-60nm | .38 | .35 | .39 | | | | | | | |

第6章 実験式の適用範囲と使用上の注意

6.1 実験式の適用範囲

6.1.1 観測条件

主として、第4章で述べた各所における実験の結果、『等明るさ感照度比』は、光源の演色特性のほか、これらによって照明された環境における観測者の眼の順応の条件によっても影響されることが明らかになった。実際の場合の人間の眼の順応の条件は、決して単純ではないが、最も大きい影響は、観測者の眼が照明の光に順応しているかどうかである。

このため、委員会では、第5章で述べたように、実験式を観測者の眼が光源の光に順応している場合の明るさ感に適用できるものと、観測者の眼が基準となっている光源と、対象となっている光源の両者の光を交互に見較べながら観測するような場合の明るさ感に対して適用できるものの二つに分けることにした。以下それぞれの適用範囲について述べる。

a) 観測者の眼が照明の光に順応している場合

この場合に適用できる実験式は、5.2の『順応条件における等明るさ感照度比の実験式』に示した(5.1)式である。これを次に示す。

$$r_{EA} = 1.16 \times \frac{\frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 C_{UVi,k}^* + \frac{1}{4} \sum_{i=9}^{12} C_{UVi,k}^* + C_{UV15,k}^*}{\frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 C_{UVi,w}^* + \frac{1}{4} \sum_{i=9}^{12} C_{UVi,w}^* + C_{UV15,w}^*} - 0.16 \quad (6.1)$$

ここで、 r_{EA} ：順応条件における明るさ感等価照度比

$C_{UVi,k}^*$ ：試料光源 k による JIS 試験色 i の $U^*V^*W^*$ 色空間におけるメトリッククロマ

$C_{UVi,w}^*$ ：基準の白色蛍光ランプ w による JIS 試験色 i の $U^*V^*W^*$ 色空間におけるメトリッククロマ

この式は、ある光源で照明された視環境の中にいる人間が感ずるであろう明るさ感に対する『等明るさ感照度比』を求めるときに適用できる。

この式の分母は基準の白色蛍光ランプのスペクトルに関して計算する部分であるので、これを JIS-Z8719 (物体色の条件等色度の評価方法) に F6 として規定されている白色蛍光ランプについて計算したものが、5.5の『基準の白色蛍光ランプの相対分光分布による実験式の簡略化』に示された(5.3)式である。これを次に示す。

$$r_{EA} = 0.012 \left[\frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 C_{UVi,k}^* + \frac{1}{4} \sum_{i=9}^{12} C_{UVi,k}^* + C_{UV15,k}^* \right] - 0.16 \quad (6.2)$$

観測者の眼が照明の光に順応している場合の、一般的な目的にはこの(6.2)式を使用できる。

b) 観測者が、基準となっている光源と、対象となっている光源の両者の光を交互に見比べながら観測する場合

この場合に適用できる実験式は、5.3の『併置条件における等明るさ感照度比の実験式』に示した(5.2)式である。これを次に示す。

$$r_{ES} = 0.88 \times \frac{U_{8,k}^* V_{l,k}^* - V_{8,k}^* U_{l,k}^* + \sum_{i=1}^7 (U_{i,k}^* V_{i+1,k}^* - V_{i,k}^* U_{i+1,k}^*)}{U_{8,w}^* V_{l,w}^* - V_{8,w}^* U_{l,w}^* + \sum_{i=1}^7 (U_{i,w}^* V_{i+1,w}^* - V_{i,w}^* U_{i+1,w}^*)} + 0.12 \quad (6.3)$$

ここで、 r_{ES} : 併置比較における明るさ感等価照度比

$U_{i,k}^* V_{i,k}^*$: 試料光源kによるJIS試験色iの $U^* V^*$ 座標

$U_{i,w}^* V_{i,w}^*$: 基準の白色蛍光ランプwによるJIS試験色iの $U^* V^*$ 座標

この式は、観測者が、異なった光源で照明された視環境を外から眺めたときに感ずるであろう明るさ感、例えば、商店街を歩いているときに色温度の異なる光源で照明された複数の店舗の中を外から眺めたときの明るさ感、に対する『等明るさ感照度比』を求めるときに適用できる。

6.1式の場合と同様、この式の分母は、基準の白色蛍光ランプのスペクトルに関して計算する部分であるので、これをJIS Z8719にF6として規定されている白色蛍光ランプについて計算したものが、5.5の(5.4)式である。これを次に示す。

$$r_{ES} = 0.000254 \left(U_{8,k}^* V_{l,k}^* - V_{8,k}^* U_{l,k}^* + \sum_{i=1}^7 (U_{i,k}^* V_{i+1,k}^* - V_{i,k}^* U_{i+1,k}^*) \right) + 0.12 \quad (6.4)$$

(6.4)式は、基準の光源と対象となっている光源を交互に見比べる一般的な場合に使用できる。

6.1.2 色温度

今回得られた実験式は国内外の研究を調査し、その結果を総合して得られたものである。従って、これらの実験式は、その基礎となった実験の範囲内でのみ適用できると考えられる。実験は多くの場合、色温度5000Kの蛍光ランプを中心としているので、これらの実験式は、色温度5000Kを中心に7000Kから3000Kの蛍光ランプ、および白熱電球に適用できるものであると考えてよい。

6. 1. 3 照度

今回、本委員会が調査した研究の多くが、実験の対象とした照度は、およそ500ルクスを中心として上下数100ルクスの範囲であった。したがって得られた実験式の適用できる照度の範囲も自ずからこれを大きく越えることは好ましくない。実験の対象となった照度の範囲は研究者によってそれぞれ異なっているので、厳格な適用照度範囲を決めることはできないが、およそ100ルクスからおよそ1000数100ルクスの範囲と考えられる。これを大きく外れるような照度範囲に使用することは避けるべきであろう。

6. 2 使用上の注意

『等明るさ感照度比』は、照明工学では比較的新しい概念を基礎とする数値である。したがってこれを他の測光量と同じように取扱うと大きい誤りを生じたり、誤った考え方を誘いだすおそれがある。少なくとも以下に述べるような点に留意して慎重に取扱う必要がある。

(注意1) {『等明るさ感照度比』の数値をそのまま明るさの感覚量である『明るさ感』を示す数値と誤解されるような使用を避けること}

前述したような『等明るさ感照度比』の技術的意味から、その使用にあたっては、その数値の意味がそのまま『明るさ感』に対応しているような誤解を生じないように慎重な配慮が必要である。したがって、『等明るさ感照度比』の値をそのまま、『明るさ感』であるような使用法は厳に戒めなければならないと考えられる。

(注意2) {『等明るさ感照度比』の値 (r_{EA} , r_{ES}) は、対象のランプによる照明が基準のランプとおなじ明るさ感が得られている場合以外には明るさの感覚に関連がない数値であることを忘れないこと}

この委員会で取り扱った『明るさ感』の定義は第8章『明るさ感についての一般的考察』で詳細が述べられている通りである。

すなわち 明るさ感とは、同じ照度で照明されたある視環境が、或る光源で照明された場合は他の光源の場合より"明るい気がする"、あるいは"暗い気がする"というような明るさの感覚のことである。この明るさの感覚は、光に対する視覚の直接的で単純な反応の結果生ずる一般的な明るさではなく、視環境の輝度、色彩に対する複合的な心理的反応によって生ずる、明るさについての複雑な感覚である。

本委員会では、これを人間の感覚に比例的に対応する数値に直接数量化することは極めて困難であるので、『明るさ感を人間の感覚に比例性のある数値』で表現する代りに、甘さや匂い、化学物質の毒性などの表現に使用されている『同じ感覚、或は作用を生ずる刺激の物理量』で表すこととし、これを『等明るさ感照度比』と呼ぶことにしたのである。すなわち、ここでいう『等明るさ感照度比』は、ある光源によって照明された視環境が、基準となつている光源によって照明されたときと同じ明るさ感が得られるときの、両者の

照度の比である。これは例えば、ある人工甘味料の甘さを表そうとすると、ある甘さが他の甘さの何倍かというような感覚に対応する甘さの数値化が困難であるので、広く使用されている砂糖の甘さを基準とし、その人工甘味料と同じ甘さを生ずるときの、砂糖と人工調味料との重量、或は体積の比でこれを間接的に表現することがあるのと似ている。

この場合、人間の感ずる甘さの感覚は、甘味料の重量にも、体積にも直線的な対応はしないので、例えばある人工調味料の甘さが砂糖の1000倍あるといっても、実際には、その人工甘味料が人間に砂糖の1000倍の甘さの感覚を生じさせるのではなく、その甘味料で得られる甘さが砂糖の重量または体積を1000倍したときと同じ甘さであるということの意味するものに過ぎない。したがって、この場合の人工甘味料の甘さとして表されているのは、厳密には『甘さ』ではなく、たとえば、『等甘味重量比』（このような用語はない）とでもいうべきものである。したがって、ある光源の『等明るさ感照度比』が、例えば1.3であるというのは、その光源が基準として使用されている白色蛍光ランプの1.3倍の明るさ感があることを意味しているのではなく、この光源によって得られる照明の明るさ感が白色蛍光ランプの照度を『等明るさ感照度比』倍だけ増加したのと同じであるということの意味しているにすぎない。このことは、第2章、2.2『明るさの感覚量と刺激量』に述べられているように、人間の明るさの感覚は、照度などの測光量と直線的な対応はないことから容易に理解されるであろう。これが第5章に示された二つの実験式によって得られる『等明るさ感照度比』の意味である。

したがって、これらの実験式で得られる数値は、計算の対象となっているランプと、基準のランプとが『同じ明るさ感』になっている場合についてのみ感覚的な明るさに関連がある数値で、両者が同じ明るさ感になっていない他の如何なる場合にもこの数値と、明るさ感とは感覚に比例するような対応はないことを忘れてはならない。ただし、等明るさ感照度比の大きい光源ほど同じ照度でも明るい感じが得られるという相対的な関係では、感覚に関連はある。

(注意3) {『等明るさ感照度比』が高くても照度を低くするのは慎重を要すること}

本委員会が取り扱ってきたように、ある視環境が同じ照度で照明されているとしても、光源のスペクトル特性に差があると、異なった『明るさ感』を生ずることがあるが、これは、あくまで心理的な現象であり、観測者の視覚に物理的、或は測光的な刺激が増大したのではない。視覚に対する刺激は測光量によって測定されるものである。したがって、たとえ『明るさ感』の大きい、いいかえれば、『等明るさ感照度比』の高い光源を照明に用いたとしても、通常の場合では照度が等しければ、視覚の知覚特性も等しい。もし仮に、『等明るさ感照度比』が高いからといって、その値に対応するだけ照度を低くすると、たとえ同じ『明るさ感』は得られても、視覚の知覚特性は照度を低くしただけ、劣化するおそれがあるから注意を要する。

(注意4) {『等明るさ感照度比』の値と他の測光量の数値を乗除した数値をそのまま明るさの感覚量である『明るさ感』を示す数値として取り扱わないこと}

上述のように、光源の演色特性の差によって生ずる明るさ感の差は、現在のところ同じ明るさの感じを与える時の照度の比、すなわち、『等明るさ感照度比』でしか表現出来ない。繰返し述べてきたように、この『等明るさ感照度比』の数値は、基準となる照明の光による明るさ感が対象となる照明の光による明るさ感と等しい場合以外の条件では人間の明るさの感覚とは対応していないものである。また、周知のように照度、輝度、光束量などの測光量もその数値と人間の明るさの感覚とは比例的な対応関係はない。したがって『等明るさ感照度比』の値と他の測光量、例えば、照度、光束とを乗除した値が、そのまま明るさの感覚量である『明るさ感』であるように取り扱ってはならない。すなわち、仮に、ある光源が基準の光源に対して、1.3の『等明るさ感照度比』の特性をもつとしても、これは、決して1.3倍の明るさ感をもっているのではないから、この光源による視環境の照度を基準の光源の2倍にしたからといって、基準の光源の明るさ感の2.6倍の明るさ感が得られるわけではない。あくまで『等明るさ感照度比』1.3の光源の照度が、基準の光源の照度の2倍になったに過ぎない。

6.1.1で述べたように第5章に示した実験式は、基準の光源による照明と対象となる光源による照明の明るさ感が等しい場合にのみ意味があるのであるから、この場合のように、両者による明るさ感が異なる条件に対しては、この実験式によって求めた結果は意味を持たないのである。このことは、前述の『等甘味重量比』1000の人工甘味料の重量を2倍にしたからといって、その甘さが砂糖の2000倍になるわけがないのと同じことである。

(注意5) {等明るさ感照度比の値の精度を、物理学的な数値と同じ精度であるような取り扱いをしないこと}

第8章『明るさ感についての一般的考察』で述べるように、この委員会で取り扱った『明るさ感』は視覚に対する直接的な刺激のほかに複雑な思考の関連する知覚現象である。このような対象についての観測は観測者の心理的な状態によって同じ条件で明るさを観測しても、実験の方法によっては必ずしも同じ結果が得られるとは限らない。このことは、たとえば同じ甘さについての実験でも、甘さが感じられるかどうか、のような感覚の関は比較的精度の良い実験ができるが、複雑な甘さ例えば、ケーキの甘さと、漬物の甘さでは人によって、状況によって全く異なった甘さを感じる結果となる。従って実験の結果も他の分野の実験、例えば知覚閾に関する実験あるいは電気技術に関連して得られる数値とはおのずから異なった意味をもち、同等に取り扱うことは出来ない。すなわちこの種の実験によって得られた数値はひとつの傾向を示すものであり、その僅かな差を細かく論ずべき性質のものではない。前述の実験式による『等明るさ感照度比』の予測精度は、5.4で述べられているように、0.1には達しないからである。

第7章 明るさ感増大の理論的考察

7.1 ヘルムホルツ・コールラウシュ効果 (B/L効果)

等しい輝度(luminance)にそろえた2つの色光は色度が異なると必ずしも等しい明るさ(brightness)にならないことは古くから指摘されており、また、その定量的な実験、理論的な考察もこれまでに数多く行われてきた^{1, 2, 31, 33, 56, 57)}。色光の明るさと輝度との違いを定量的に表すために、心理物理学では、テスト色光と、参照白色光を直接比較法により明るさマッチングし、その時の参照白色光の輝度Bとテスト色光の輝度Lとの比B/Lがよく用いられる。B/Lはテスト色光が白色光の時はB/L=1、テスト色光の明るさが増すとB/L>1となる。一般に、色光の彩度(saturation)が増加するとB/L値が増大し、この現象はヘルムホルツ・コールラウシュ効果またはB/L効果と呼ばれている。このように心理物理学では現在、"輝度≠明るさ"という関係が当然のこととして受け入れられている。この関係は輝度に基づく現在の測光システムの大きな問題点であり、CIEでも"明るさ"に基づく新しい測光システムの確立を急いでいる。

表1にこれまで報告されてきたB/L効果を求めた実験を示す⁵⁷⁾。ただしここではテスト視野サイズが明所視での標準的な観測条件である2°に近いものを集めてある。図1に表中の実験NO. 1, 3, 5, 7, 8の等B/L軌跡を示す。(等B/L軌跡の詳しい求め方は文献57)を参照。)実験2, 4は測定したテスト色度点の数が少ないため、等B/L軌跡は求められていない。各図中黒丸が測定に用いたテスト色度点を表し、各曲線が等しいB/L値を持つ軌跡"等B/L軌跡"を示している。B/L値の対数値が各軌跡に沿って示されている。

各実験の等B/L軌跡を比較すると、共通点としては、

- (1) 白色光からテスト色光が離れるにつれてB/L値は増大する。
- (2) ほとんどの実験で軌跡は黄領域から青紫領域へのびる形状をしている。

ことがあげられる。しかし、相違点としては、

- (1) B/Lの値が各実験により異なる。
- (2) 青紫領域での曲線の形状が各実験により異なることがあげられる。

ことがあげられる。

以上、示したように色光のB/L効果は、一般的特性に関しては各実験間で一致しているが細かい形状、値になると相違点が多い。しかし、これらの相違点の解明はこれからの研究にまかせるとして、現段階においてとりあえず平均的なB/L値を求めるために、Ware and Cowan⁵⁸⁾は多くの実験結果を集め、それらのデータ点にフィットする実験式(式(1))を求めた。式(1)はテスト色光の輝度の対数値に加えればB/L値の対数が得られるような補正項cとして表されている。

$$c=0.256-0.184y-2.527xy+4.656x^3y+4.657xy^4 \quad (1)$$

ただし、x,yは色光のCIE1931(x,y)色度座標を表す。図2中の曲線で式(1)の色度図表示を示す。

図2と図1を比較すると明らかなようにWare and Cowanの式はあくまでも平均値であり個々の実験結果とはかなり相違がみられる。しかし、色光の"明るさ"に基づく新しい測光

関数の確立という点で、測光学を一步前進させたということでは意義深いものと言えよう。

7.2 B/L効果の理論的根拠

7.1で示したように色光のB/L値は、色光の彩度の増加とともに増大した。これは色光の明るさは色光の持つ“色味”(chromaticness)に強い相関のあることを示している。また、色光の彩度と明るさ—輝度差の関係を定量的に調べた研究⁵⁶⁾からも色味が明るさに寄与していることは明らかである。

最近の色覚モデルを図3に示す²⁸⁾。色覚モデルでは、青(B)、緑(G)、赤(R)の3種の錐体の応答が1個の輝度チャンネル(V)と2個の反対色チャンネル(y-b, r-g)に入力し、その出力が合成されて明るさ(図3ではL)、色相、彩度といった色の知覚に到達するとされている。

Guthら²⁷⁾はこの反対色理論に基づいた色覚のベクトルモデルを提唱し、それを用いて、明るさ(B)と輝度(L)との違いを説明している。彼らの色覚モデルは輝度チャンネル(A)、赤—緑反対色チャンネル(T)、黄—青反対色チャンネル(D)が3次元ベクトル空間の直交する3軸で表され、

$$\text{明るさ } B = (A^2 + T^2 + D^2)^{1/2},$$

$$\text{輝度 } L = A$$

となる。明るさに2つの反対色チャンネルからの寄与を与えているGuthらのモデルは、その後、Yaguchi-Ikeda⁵⁹⁾のモデルにより改良され、色光のB/L効果をかかなりよく予測できるようになった。このように、色光を用いた実験、また色覚モデルからも色光の明るさと輝度との違いは色光の持つ色味が輝度に加わるために起こることが示されている。したがって色味の強い色光ほど明るく見えることになる。

7.3 B/L効果と蛍光ランプによる明るさ感増大との比較

図2に白色蛍光ランプを用いた場合と3波長域発光形蛍光ランプを用いた場合とでの演色評価用試験色の色度の変化の一例を示す。黒丸印が白色蛍光ランプ、白丸印が3波長域発光形蛍光ランプによるものである。したがって、2種のランプにより試験色の色度は図中の線分だけ変化することになる。図中の曲線はWare and Cowanの等B/L軌跡を示す。図から明らかかなように、色度の変化によるB/L効果は約 $0.05 \log \text{ unit}$ (比=1.1)以下であり、3波長域発光形蛍光ランプの等明るさ感照度比の約1.4よりかなり小さい値となっている。

B/L効果は蛍光ランプによる明るさ感増大効果とその方向(色味が強いほど明るさあるいは明るさ感が増す)は一致しているものの、値そのものには大きな開きがある。蛍光ランプによる視環境の明るさ感は単一の色光または色票を観測した場合の明るさと相関はあるが同じものではなく、明るさ感とは単純な明るさにさらに高度な心理効果が加わって得られているのではないだろうか。

表1 B/L効果を求めた実験と実験条件⁵⁷⁾

| No. | 実験者 | 刺激 | 明るさマッチングの方法*と輝度レベル | 被験者数 |
|-----|--------------------|------------------|---|------|
| 1 | Sanders & Wyszecki | 2°, 4角形視野, 表面色 | 参照光をテスト光に, 650 lx ($Y=0.2$); $V(\lambda)$ | 2 |
| 2 | Breneman | 1°50', 2分視野, 開口色 | テスト光を参照光に, 17 cd/m ² ; $V(\lambda)$ | 3 |
| 3 | Kaiser & Smith | 1°50', 2分視野, 開口色 | テスト光を参照光に, 3.2 cd/m ² ; $V(\lambda)$ | 1 |
| 4 | Alman | 2°, 2分視野, 開口色 | 参照光をテスト光に, 10 cd/m ² ; $V(\lambda)$ | 17 |
| 5 | 矢口と池田 | 2°, 2分視野, 開口色 | テスト光を参照光に, 100 td; $V(\lambda)$ | 1 |
| 6 | Booker | 1°, 円形視野, 開口色 | 参照光をテスト光に, 100 cd/m ² ; $V(\lambda)$ | 9 |
| 7 | Burns et al. | 2°, 2分視野, 開口色 | 参照光をテスト光に, 20 td ; 交照法 | 3 |
| 8 | 本実験 | 45', 円形視野, 開口色 | テスト光を参照光に, 150 td ; 交照法 | 2 |

* "参照光をテスト光に"とあるのは、参照光の明るさを変化させて輝度一定のテスト光の明るさにマッチングすること。"テスト光を参照光に"とあるのは、テスト光の明るさを変化させて輝度一定の参照光の明るさにマッチングすることを表わしている。

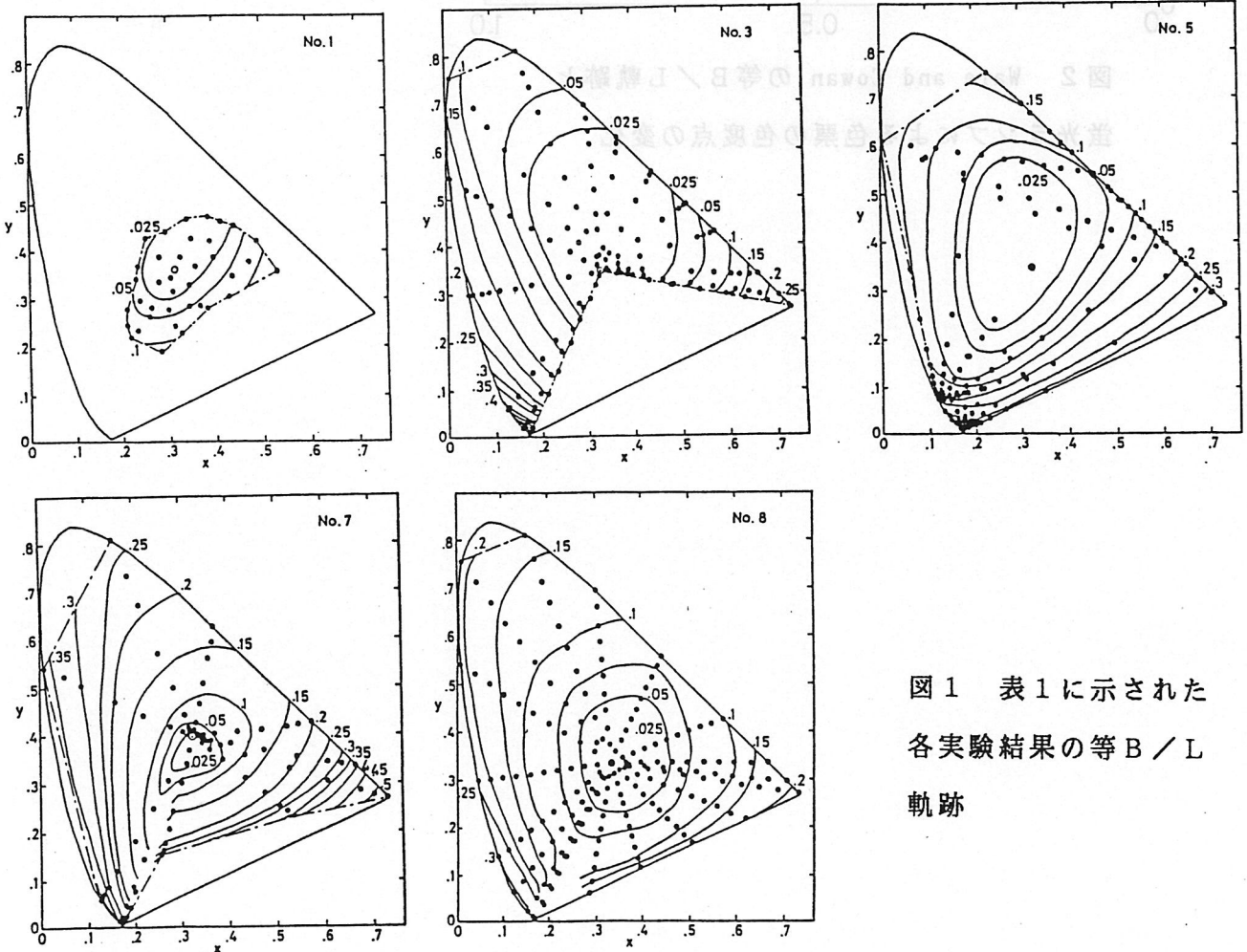


図1 表1に示された各実験結果の等B/L軌跡

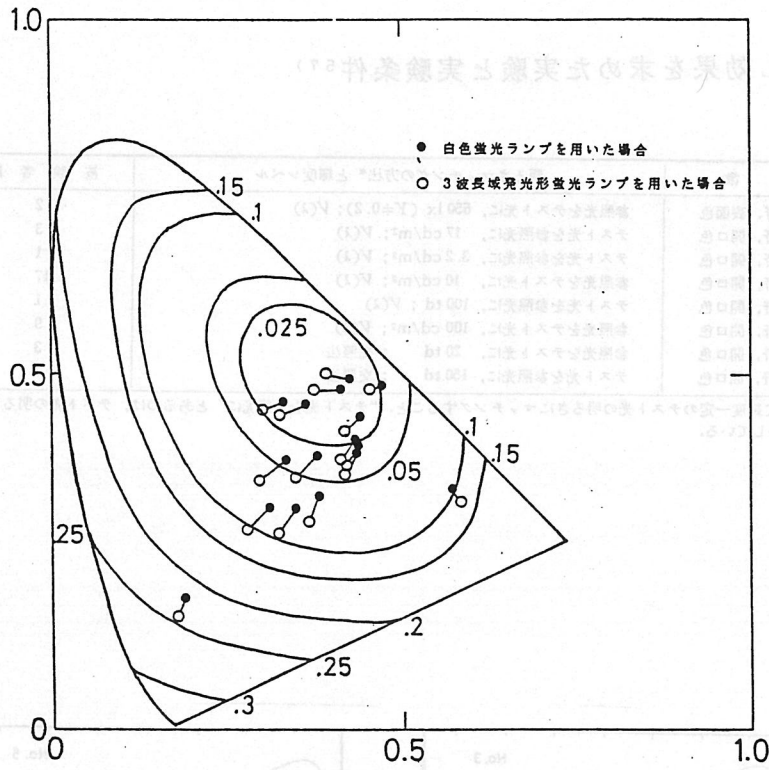


図2 Ware and Cowan の等 B / L 軌跡と
蛍光ランプによる色票の色度点の変化

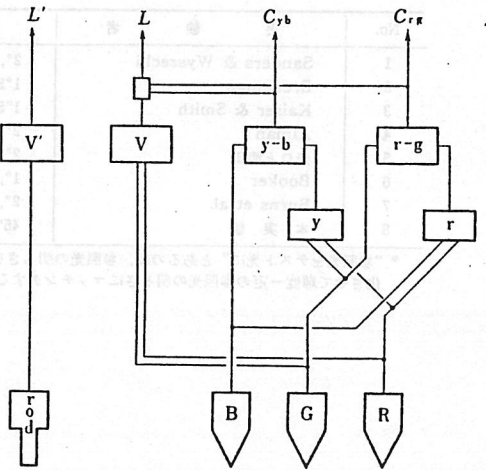


図3 色覚モデル

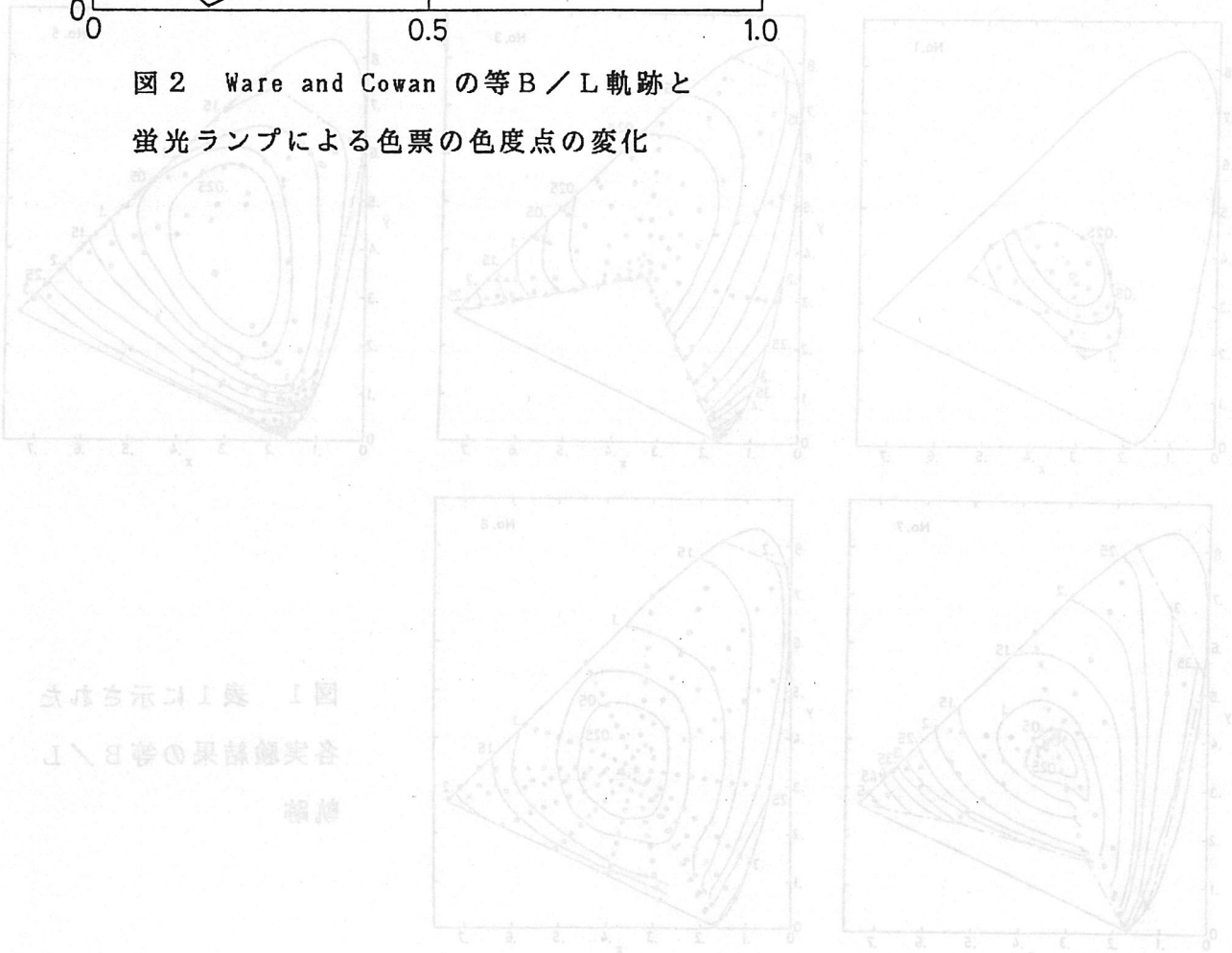


図4 色覚モデルによる色票の色度点の変化

第8章 明るさ感についての一般的考察

此の報告書は、表題に示す通り“明るさ感”についての報告書であるが、その最も基本である“明るさ感”と云う言葉の意味が完全には確立されておらず、あいまいのまま論じられ、一応の結論を得たものである。故に、本報告書の結論を利用しようとする者は、この点をよく弁えて、“明るさ感”と云う言葉の意味を勝手に理解してしまったり、恣意的に定義して用いたりしてはならない。此の様に報告書の形で或る事実が結論づけられると、その結論は一般にその限定範囲を越えて、一人歩きしがちなものであるが故に、敢えて冒頭に注意しておく次第である。

8. 1 “明るさ”と“明るさ感”

そもそも“明るさ”と云う言葉は、感覚と無関係には考えられない言葉であり、特に照明の領域では此の言葉を感覚の様な心理量にのみ使い、客観的存在としての光の属性の量、即ち、物理量には用いない様にしようとしている。であるとするならば、“明るさ”とは感覚としての明るさか、或いはその程度の事であるから、明るさの感覚、即ち、“明るさ感”と同義である筈である。然るに此処で敢えて“明るさ感”と云う言葉を使うのは、“明るさ”とは違った意味内容の概念があつて、これを示す為の言葉が必要となつた為であると解す可きであり、又、“明るさ”と云う言葉が有るのに、敢えて“明るさ感”と云う語を使うと云う事は、“明るさ感”と云う語に“本当は明るくないのに明るい気がする”か、或いは少なくとも“本当に明るいかどうかは分からないけれども、ともかく明るい気がする”と云う意味合いが含まれていると解す可きである。

そこで先ず、“本当に明るい”とは何か、“明るい気がする”とは何かについて解説する。

8. 2 明るさと云う言葉の意味内容

8. 2. 1 客観的存在としての光の明るさ

CIEの定義では、明るさと言う語を感覚の属性に付いてのみ使い、光の属性に付いては使わないように敢えて制限している。然し、普通には、明るい光、暗い光と云う表現は極々当たり前の事であり、そう云う表現をする様な考え方を封じる事は無理

である。此の様な使い方をする時の“明るさ”は、物の長さとか重さと言う時の“長さ”“重さ”と云う語と同じ様な意味を持っている。

客観的存在物の“長さ”を、普通は“客観的長さ”と考えるが、此れは、人間の行動に伴った全ての感覚、即ち、目で見ると、扱う（持つ、撫でる、歩く、機械を操作する、等）、扱った結果を感知する等、を総合して得た判断である。

光は“人”が“物”を知る時の一つの媒介物であると人は解するから、光と物との認識の次元はやや異なるが、光も又、普通には客観的存在として認識される。であるから光の明るさと云う場合の“明るさ”は、長さの場合と同様、種々の状況に対する感覚を総合した判断と解す可きである。

8. 2. 2 感覚或いは感覚量としての明るさ

感覚には刺激に対する全く直接的な単純な反応として考えられる感覚から、複雑な複合的感覚まで、種々のレベルの感覚がある。故に、一言で感覚と言っても、それには全く思考が介在しない単純なレベルの感覚から始まって、より思考が加味された知覚レベルのもの、更には、判断レベルのもの等、種々の段階がある。此れを3段階に分けて、明るさについて述べる。

a. 明るさの基本的概念に最も近い明るさ

最も単純に感覚を考える時は、意識の介在も排除される。明るい意識するならば、そこには既に思考が介在していると考えられる可きであるが、ここでの論議は此のレベルから始める事にする。

光に対する感覚のうち、明るさ以外の属性、例えば、色調とか広がり等を固定させ、明るさだけが変化するように刺激条件を設定して行った、明るさについての心理実験が明るさを最も純粋に捉えられる。然し、実際には、色調の違ったもの同志の明るさの比較と云うような複雑な条件下での実験をせざるを得ない場合が多い。又、たとえ如何に単純な条件の場合でも、視野全体の刺激の布置（配置）と云う様な物理的条件や、順応とか網膜の何の部分で見ているか等の人間側の条件で、一定の光に対してもそれに対する明るさの感覚は違って来る。

此の様な場合には、条件を最も単純、純粋と考えられるもの限定して“明るさ”

を定義する事で、一応は解決出来る。そして条件が変わる事によって値が変わって来る場合は、その値の変化の原因を出来得る限り付加された条件の側に持たせて整理して行き、最終的にはより高い次元の原理に到達する、と云う手法が普通の科学的手法である。

b. 色調と明るさとの2次元に分けて考えた時の明るさ

例えば、赤い色の光を見ている人がその光をある明るさであると感じている場合、本人がそう感じているのだから、それが即ちその人にとっての明るさである、とする考え方と、その人の感じている明るさは、本当の明るさに色味の感覚が複合した結果として出来上がった明るさの感覚であるから、複合分を取り除いたものが本当のその人にとっての明るさの感覚である、と云う考え方とがあり得る。

此の事が今将に問題になっている事の一つである。色の付いた光（変な言い方であるが、敢えて言う事にする。又、白も色である）の明るさについての判断をする場合、“色味”がその判断にどの位影響するかは、人によってまちまちであるし、又、同一人でも一寸した思い方で変わって来る。もともと、色味と明るさをどの様に分けて考えているか判らないし、色味とは何か、明るさを伴はない色味が考えられるかさえはっきりしていない。一般的“B/L”の問題における、明るさに対する色の寄与についての実験結果と、“明るさ感”におけるそれとに、大きな違いがあるのも、別に不思議な事でも、困った事でもない。

c. 判断レベルの明るさ

表面色を見る場合、照明光が強くても弱くてもそれが極端でない限り大体同じ明るさに見える。これは、目に入った光に対する直接的感覚を、物の“表面その物の明るさ”とそれを“照明する光の明るさ”とに分けて知覚しているからであると考えられる。此の様な場合、唯“明るさ”と云ってもそれが上記3者の内のどの明るさであるかは、見ている本人さえはっきりしていない場合がある。

此の様に、人が普通に物（外界）を見ている時、ただ明るさと云っても、それは大別して① 目に入る光そのものの明るさ、② 物の表面の明るさ（観念としては光と無関係）、③ それを照らしている光の明るさ、の3つが考えられる。そして人は

その3つを或る程度自由に替えてそれぞれの判断をする事が出来る。又、逆に、本人はそうした心算でも、実際にはそうならない場合もある。“明るさ”を“大きさ”に置きかえて説明すると次の如くである。即ち、“大きさ”を“明るさ”に対応させると、上述の①は網膜像の大きさに対応する大きさ、②は実際の物の大きさ、③は目から物までの距離、になる。物までの距離はどの位か、物の大きさはどの位か、目に映っている大きさはどのくらいか（画をかく時、鉛筆を立てて見る様な見方）の3つの見方は自由に変えられる。然し、一方、一旦①の様な見方をしてしまうと、②の見方に戻した心算でも、ちゃんと元通りにはならない事も屢々ある。一般的には、近い所にある物は、①の見方が難しく、遠い所にある物は、③の見方が難しい。そして、①②③それぞれについての判断の量が、他の判断の量に影響し合っている。話を明るさに戻すと、此の場合も全く同じ状況にあり、それに加えて、大きさに対応する語も、距離に対応する語も共に明るさと云う語であるから、尚更ややこしい。結局、ただ明るさと云った場合、先にも述べた如く、①②③の何れの明るさとして判断するかが、半ば自由でもあり、半ば不自由でもあり、又、その判断量が相互に影響しており、且つ、その全体的状況が大きさの場合より未分化の段階にあるため、判断者が①②③のどれについて判断しているか気付かないとか、曖昧な中間的判断が出やすい等、問題をより複雑にしている。

8. 2. 3 雰囲気としての明るさ

これは、前述のような意味での感覚レベルよりも、もっと複雑なメカニズムを持った感覚である。明るい性格の人とか、暗いメロディーとか云う時の、明るい、暗いは、実際の光によって生じた、明るい、暗いの感覚に伴う感情、フィーリングにその共通点がある事から、その様な使われ方をするものと思われる。又、同じ食べ物でも、きれいに盛り付けしてあると、より美味しく感じる。此の様に、感覚は感情と深く関わっているから、同じ明るさの部屋でも家具の善し悪しや、清潔さ等から生じる感情が、その部屋に対する明るさの感覚を左右する事は充分あり得る。

色についても、それぞれの色に対する特有の感情があるから、2)のb.のレベルでの、色の明るさの感覚にも、感情が複合している可能性がある。

8.3 “明るさ感”

本報告書で問題とされている“明るさ感”は、分光組成の異なる種々の光源で種々の所を照明した場合、とかく或る光源は他の光源より明るい気がする。それなら、この“明るい気”を量的に把握し、この値をその光源の特性を示す値として用いたい、と云う事から始まっている。事実、一般的には、三波長型蛍光灯で照明された部屋は従来の他の蛍光灯で照明した場合に較べて同じ照度条件であっても明らかに“明るい感じ”がする。然し、此の事実をはっきりとした言葉や数値で表して使おうとする場合は、“明るい感じ”とは如何なる感じか、他の諸条件はどうなっているか等等、少なくとも、これに関係の有りそうな条件は全てチェックした後にす可きである。然し、現在、何らかの結論を出す事が要望されているし、此処に示す如く、幾つかの実験結果も得られているので、“明るさ感”の概念をはっきりさせないまま結論づけたものである。故に、此処で云う“明るさ感”とは室内の照明状況の漠然とした印象としての明るさの感じを意味していると解す可きである。そして此れは照明光の強弱に対する判断であるか、或いは、部屋の壁を含めた全ての物の配置から受ける印象であるか等も今の所不明である。

8.4 “明るさ感”に係わる諸条件

(1) 測光の基礎となる視感度は、異った色相互の明るさをフリッカー（ちらつき）の現象を基礎に測ったものである。此の方法（交照法と云う）が人間の明るさの感覚を最も純粋にとらえたものであるか否かははっきりしていないが、他の測定法に比べて測定値が安定している。

(2) 異った色を二つ並べて、此れを直接見てその明るさを比較すると（一般には二色が同じ明るさに感じる時のそれぞれの物理的強度を求める）交照法によって得られる値と異った値が得られる。交照法による場合に較べて彩度が高い色程明るく感じる。

(3) 明るさの感覚と直接関係している測光量は輝度であるが、同じ輝度でも彩度が高い色ほど明るく感じる。これは測光量がフリッカーを基礎に決められている為であろうが、そうかと云って直接比較法を基礎にすると加法性が満足されなくなるし、

基礎の実験においても比較色の大きさ、比較の仕方等によってその値が変わって来る。結局、色が付いた物の輝度と明るさの関係は今の所はっきりしない。特に色違いの物についての明るさを輝度で論じる場合は、その測定値は非常に大雑把にしか使えない。

(4) 本報告書の主題である“明るさ感”に最も関係があるのは、光源の分光組成と部屋の中にある物の分光反射率である。部屋の中の物の彩度が高く見えるか低く見えるかが“明るさ感”に大きく係わるとするなら、実際に存在する物がそれぞれの光源に対してどのような彩度と、そして又、輝度となるかの分布（出現確率）を求める必要がある。

(5) 同一光源の下に彩度の比較的高い物を配置した時と、彩度の低い物を配置した時との“明るさ感”の相違を系統的に調べる必要がある。

(6) 既に行われた実験は、全て既存の普通に用いられている蛍光灯などを光源とした実験ばかりである。即ち、照明光の色は全て普通には白と云われるものばかりの非常に狭い範囲の色に限られている。照明光によって実現される色の範囲の大きさを基礎に一般式を作るなら、極端には単波長の光による照明をも含んだ広範囲の照明光を用いた実験データが必要である。

(7) 物が表面色に見えている場合の見え方の心理的メカニズムは、先にも述べた如く、非常に複雑である。物に表面性が感じられると云う事は、例え意識してはいないとしても、目に入って来る光によって生じる明るさの感覚を、物の表面そのものの明るさ（客観的明るさ）と、照明光の明るさ（客観的明るさ）とに分けて知覚しているからこそ可能な事なのである。故に、実験の時に被験者に漠然と“明るさ如何？”と問うたのでは、如何なる判断をしたのかははっきりしない。又、たとえ細かい注文をつけたとしても、その通りの判断が得られるかどうか不明である。

結局、“明るさ感”について最終的な結論を出すためには、思い付く全ての条件について“明るさ感”を測定し、然る後、それらの平均値を求めるとか、何通りかの数値を作るとかを、測定値の分布等から決めなければならない。

8.5 考察の総合的結論

1) 此处で云う“明るさ感”は、普通、人が理解している“明るさ”とは次の点で異なっている。

1) 普通、人が理解している“明るさ”は、人間の“行動”と結び付いたものであって、“明るい程よく見える”と云う事にその基本がある。故に、これは、種々の目的から設定された条件での作業との関係を知る為に必要な値、例えば、見えるか見えないか、読めるか読めないか、読み易さ、読む速さ、読み違いの率、疲労ないしは持続力、等と対応を付けられる様な明るさである。

それに対して、此处で云う“明るさ感”は、既に述べた如く、複合的な感覚ないしは情緒的な意味合いも含まれた感覚であるから、此れに基づいて得られた数値を作業面の事に使ってよいとの保証はない。したがって例えば、明るさ感を示す数値の大きい蛍光灯は、本数が少いで済むから、経済的である等と気安く言ってはいけない。

2) “明るさ感”は複合的な感覚であり、状況によってその内容を異にするから、此れに関する測定値はバラツキが大きいものと解す可きである。現段階では、未だ、全ての条件が実験的に詰められてはいないから、“明るさ感”の値の分布の様子も判っていないし、実験式を求めるために必要なデータの範囲が充分広くとられてはいないから、本報告書で提案している方法で求められる数値は、将来変わるかも知れないし、現状でも、大雑把な数値として使わなければならない。即ち、小さな数値の差をとやかく云う事は決してあってはならない。

第9章 考察と今後の課題

9.1 考察

大変に長い期間にわたる研究と調査の結果、本委員会はようやく一応の結論に達することが出来た。それが、式(5.1)と(5.2)、あるいは(6.1)と(6.2)である。今後これらが有益に使われることを願うものである。これらの式に到達するためには実に多くの討論が繰り返された。それぞれの研究者はそれぞれ自分達のデータを実験で求め、それを説明するための実験式を提案していた。それらは各自の報告の項を見て頂けば分かることである。

それらにはそれぞれ特長がある。たとえば東芝のものは等明るさ感照度比を色域面積で表そうとしており、演色性評価法に通じるものがあるし、松下のものはメトリック・クロマを用いて、明るさ感が色の鮮やかさと関係のあることを明示するものとなっている。また三菱のものはメトリック・クロマの計算に三つの代表的な鮮やかな色、赤、緑、青だけを選び、計算を簡略化しようとしている。従って本委員会が最終的に採択した式(5.1)と(5.2)は、これらの式を統合してそれぞれの特長を生かそうとしたものと言ってよい。

ところで私は、式(5.1)と(5.2)の導出を本委員会の重要な業績とは認めながらも、それと同程度に、あるいはそれ以上に大きな成果として、式の導出に至る経過で幾つかの事が明らかになったことを揚げたいと思う。そのうちの最も大切なことは、B/L効果などで言われる”明るさ”と本委員会が取り扱った”明るさ感”とは、関係があるとしても同じではないと言う事である。両者は区別されなければならない。”明るさ”の実験では、光学系などを用い二分視野などの極めて非日常的なパターンを観測者に与えるのに対して、”明るさ感”の実験では実際の部屋などを用いて臨場感を豊富に観測者に与えている。この臨場感あるいは自然の雰囲気の中で観察者が明るさと感じたことがここで言う”明るさ感”なのである。第3章では”明瞭感”や”満足感”なる言葉が用いられているが、これらも我々が言う”明るさ感”に近いものではないかと思われる。

このことは経験のある観察者にとっては、明るさ感の実験条件下でも、雰囲気の影響を全く無視して、”明るさ”の評価もすることができると示唆している。実際の実験の場合、観察者の判定基準を一定に保つことは難しいので、得られた結果が観察者間で大きくばらつく可能性のあることを知っておくことが大切である。データを見る時に忘れてはならないことである。

またB/L値も観察者によって大きく変動する。この変動は色チャネルの明るさへの寄与の大きさの違いによって説明されているが、いずれにしても個人差の大きいことは記憶しておく必要がある。

9.2 今後の課題

今後の課題の第一は、三波長型蛍光灯がもたらす明るさ感増大の原因を明らかにすることであろう。B/L値の増大については上に述べたようにその原因はかなり明らかにされて来ている。しかし第7章でも検討されたように、それと同じ原因を明るさ感に当てはめても明るさ感増大の現象を十分に説明することは出来なかった。今後その生理学的心理学的原因が明らかにされるなら、より明るい光源の開発に大変有用である訳である。これに関連

した基礎研究が行われることを期待する。

今後の課題の第二は、明るさ感と視知覚特性の関係を明らかにすることである。例えば照明下での新聞の読み易さは照度で決まるのか、明るさで決まるのか、或は明るさ感で決まるのか、まだ明らかにされていない。しかし大変重要な問題である。

今後の課題の第三は、明るさ感そのものの定量化である。既に本報告書で何回も触れられたように、我々は等明るさ感照度比を求めたのであり、明るさ感そのものを定量化したものではない。しかし現場ではこれが大事である。ある蛍光灯がある時、それはどれだけの明るさ感を与えるか、たとえば100か350か、などである。

以上の三つの課題は何れも極めて重要である。しかしその解明が決して易しいものではない。本委員会活動の延長上のものであるが、ついでに解明しよう等と言えるものではない。従って、もしそれらを取り上げるとするなら、それは新しい研究委員会でなければならないと思う。事実、課題の三についてはCIE（国際照明委員会）が技術委員会TC-1-05の主題として取り上げている程である。尚、課題の二については、同じくCIEのTC-1-03で話題になっていることを指摘しておく。本研究調査委員会はこの報告書の作成によってその当初の目的を達成したと考えられるのでここに解散することになる。長期間にわたる委員会活動に忠実に参加をされ、かつ熱心に討議をして下さった各委員の方々、並びに委員ではないが協力して下さい下さった何人かの方々に委員長として深く感謝したい。また本報告書のあちこちで”B/L”あるいは”明るさ”のことが述べられているが、これは照明学会の「光の量の視感覚による評価体系研究調査委員会」（池田光男委員長）の研究成果によるところが大きい。当委員会に感謝しておきたい。

参考文献

- (1) MacAdam, D.L. : Loci of constant hue and brightness determined with various surrounding colors, J. Opt. Soc. Am. 40 (1950) , 589-595
- (2) Sanders, C.L. and Wyszecki, G. : Correlate for lightness in terms of CIE-tristimulus values. Part I, J. Opt. Soc. Am. 47 (1957) , 398-404
- (3) Aston, S.M. and Bellchambers, H.E. : Illumination, colour rendering and visual clarity, Light. Res. Technol. 1 (1969) , 259~261
- (4) Bellchambers, H.E. : Illumination, colour rendering and visual clarity, CIE Compte Rendu P-71.25 (1971) , 1~13
- (5) Bellchambers, H.E. and Godby, A.C. : Illumination, colour rendering and visual clarity, Light. Res. Technol. 4 (1972) , 104~106
- (6) Boyce, P.R. and Lynes, J.A. : Illuminance, Color Rendering Index and Colour Discrimination Index, CIE Compte Rendu P-75.35 (1975) , 290~297
- (7) 金谷末子、吉瀬英雄 : 光源の色温度、演色性が所要照度に及ぼす影響, 照明学会全国大会 (1975) , 48
- (8) Lemons, T.M. and Robinson, A.V. : Does visual clarity have meaning for IES illumination recommendatins for task lighting ?, Light. Des. Appl. 8 (1976) , 24 ~30
- (9) P.R. Boyce : Investigation of the subjective balance between illuminance and lamp colour properties, Light. Res. Technol. 9 (1977) , 11 ~24
- (10) 金谷末子、橋本健次郎、角清二、松葉徹二 : 膚色の見えかたに対するけい光ランプの演色性についての一考察, 照明学会全国大会 (1977) , 47
- (11) 金谷末子、吉瀬英雄 : 光源の色温度、演色性が室内の所要照度に及ぼす影響, 電気四学会中国支部連合大会 (1977) , 153
- (12) 金谷末子、吉瀬英雄 : 光源の色温度、演色性が室内の所要照度に及ぼす影響, National Technical Report, 23 (1977) , 584~594
- (13) Belany, W.B., Hughes, P.C., McNelis, J.F., Sarver, J.F. and Soules, T.F. : An examination of visual clarity with high clour rendering fluorescent light sources, J. Illum. Engng. Soc. 7 (1978) , 74 ~81
- (14) 橋本健次郎、金谷末子、武内徹二 : 三波長域発光形けい光ランプによる照明下での色の見えかた, 照明学会全国大会 (1978) , 61
- (15) 橋本健次郎、武内徹二、金谷末子 : 三波長域発光形けい光ランプの演色特性—顔料試料による測色的検討—, 日本色彩学会 3 卷 2 号 (1978) , 50~76
- (16) 神谷茂、柴田治男、渡会吉昭、金谷末子 : 三波長域発光形けい光ランプの特性, 照明学会全国大会 (1978) , 12
- (17) 金谷末子、橋本健次郎、武内徹二 : 三波長域発光形けい光ランプによる照明下での演色性と心理的所要照度の関係, 照明学会全国大会 (1978) , 62
- (18) 金谷末子、武内徹二、橋本健次郎 : 三波長域発光形けい光ランプの照明特性, 電気四学会中国支部連合大会, (1978) , 160
- (19) 金谷末子 : 一般照明における光源の演色特性, 電気関係学会関西支部連合大会, (1978) , 7

- (20) 武内徹二、金谷末子、橋本健次郎、角清二：三波長域発光スペクトル光による演色効果の基礎的考察，照明学会全国大会（1978），60
- (21) Thronton, W.A. and Chen, E. : What is visual clarity? J. Illum. Engng. Soc. (1978), 85~94
- (22) S. Kanaya, K. Hashimoto, E. Kichize : Subjective balance between general colour rendering index, colour temperature, and illuminance of interior lighting, Pub. CIE No. 50, (1980), 274~278
- (23) Lemaigre-Voreaux, P. : Quelques relations entre eclaireage et psychisme, Lux (1979), 278~284
- (24) 延々幸夫、金谷末子、猪野原誠：三波長域発光形けい光ランプの照明特性，照明学会雑誌63巻5号，(1979), 260~271
- (25) 津田恒一、杉山春夫、西村俊夫、成田一夫：高効率高演色けい光ランプメロウリックE，東芝レビュー-34-7 (1979), 578~581
- (26) 柳瀬徹夫、小松原 仁、金谷末子：膚色の見えかたによる光源の演色特性の検討，照明学会全国大会，(1979), 61
- (27) Guth, S.L., Massof, F.E. and Benzschawel, T. : Vector model for normal trichromatic color vision, J. Opt. Soc. Am. 70 (1980), 197-212
- (28) 池田光男：色彩工学の基礎，1980，朝倉書店，東京
- (29) 石川和夫、宮川俊夫、橋本健次郎：各種けい光ランプをカラー写真撮影用光源に使用した場合の補正条件，照明学会全国大会，(1980), 85
- (30) Thronton, W.A., Chen, E., Morton, E.W. and Rschko, D. : Brightness meter, J. Illum. Engng. Soc. (1980), 52~63
- (31) 矢口博久，池田光男：明るさの加法性によるHelmholtz-Kohlrausch効果の検討，照学誌，64 (1980), 566-570
- (32) 淵田隆義、富永守、秋山順悦、河本康太郎、森礼於：3波長帯形けい光ランプの照明効果，照学誌65-10，(1981), 528~532
- (33) Burns, S.A., Smith, V.C., Pokorny, J. and Elsner, A.E. : Brightness of equal-luminance lights, J. Opt. Soc. Am. 72 (1982), 1225-1231
- (34) 橋本健次郎、納谷嘉信：高演色性けい光ランプの照明下での明るさ感，電気関係学会関西支部連合大会，(1982), 343
- (35) 森礼於、淵田隆義：光源の明るさ感についての検討，色学誌6-1，(1982), 48~49
- (36) 明道成、山ノ下真理、狩野雅夫：蛍光ランプの好ましい光色の研究，照明学会東京支部 (1982), 13
- (37) 成定康平、金谷末子、橋本健次郎：光源の色温度・演色性と明るさ感，電気学会光応用・視覚研究会，LAV-82-16，(1982), 21~30
- (38) 納谷嘉信、橋本健次郎：三波長域発光形けい光ランプの明るさと視覚現象，電気学会光応用・視覚研究会，LAV-82-18，(1982), 39~50
- (39) 納谷嘉信、橋本健次郎、金谷末子：高演色性けい光ランプの照明下での明るさ知覚，照明学会全国大会 (1982), 69
- (40) 秋山順悦、森礼於：低色温度三波長形蛍光ランプの明るさ感実験と「明るさ感等価照度比」

- の数量化, 色学誌7-1 (1983), 40~41
- (41) 橋本健次郎、納谷嘉信: 物体色のメトリッククロマと明るさ感, 照明学会東京支部大会, (1983), 15
- (42) 伊藤弘、狩野雅夫、村上静男: 明るさ感, 照学誌67-9 (1983) 450 ~453
- (43) 金谷末子、橋本健次郎: ランプの演色性と明るさ感, 照明学会全国大会, (1983), 111
- (44) 村上勝男、山崎均、田中紀彦、明道成、狩野雅夫: 高効率3波長域発光形蛍光ランプ《ルビカエース》, 三菱電機技報57-2 (1983), 129~132
- (45) 室井徳雄、山口昌一郎、納谷嘉信、森礼於、成定康平: 三波長域発光形けい光ランプとその照明効果, 電気学会雑誌103 巻 2号, (1983), 107~114
- (46) 明道成、山ノ下真理、狩野雅夫、村上勝男: 照明光の演色的効果による明るさ知覚の検討, 照明学会全国大会, (1983), 112
- (47) 成定康平: 明るさ感……ある複雑な感じ, 照学誌67-7, (1983), 297~299
- (48) 納谷嘉信、橋本健次郎: 高演色性蛍光ランプの照明下での明るさ感, 照学誌67-6, (1983) 260~265
- (49) 湯尻 照: 照明条件による視環境評価とその予測 (その2), 照明学会全国大会, 昭和58年 (1983), 95
- (50) 金谷末子、橋本健次郎: 光源の演色性と明るさ感増加効果についての考察, 照明学会全国大会, (1984), 126
- (51) 金谷末子、吉田忠弘、橋本健次郎: 人の皮膚と皮膚色票の表面特性の差異が明るさ感に及ぼす影響, 色彩工学コンファレンス, (1984), 45~48
- (52) 橋本健次郎、納谷嘉信: 色票の色の見えと明るさ感, 照明学会全国大会, (1984), 124
- (53) McNelis, J.F., Howley J.G., Dore, G.E. and Delaney, W.B.: Subjective appraisal of colored scenes under various fluorescent lamp colours, IES Annual Conference, (1984) 85~105
- (54) 明道成、狩野雅夫、山ノ下真理、村上勝男: 三波長域発光形蛍光ランプの明るさ感覚, 照明学会全国大会, (1984), 125
- (55) 納谷嘉信、橋本健次郎: ランプの明るさ感と配色の目立ち感情の関連について, 色彩工学コンファレンス, (1984), 49~52
- (56) Uchikawa, K., Uchikawa, H. and Kaiser, P.K.: Luminance and saturation of equally bright colors, Color Res. Appl. 9 (1984), 5~14
- (57) 内川恵二、内川弘美, P.K.Kaiser: 照学誌, 68 (1984) 259~264
- (58) Ware C. and Cowan W.B.: Specification of heterochromatic brightness matches: A conversion factor for calculating luminances of Stimuli which are equal in brightness, NRC Report, manuscript, (1984)
- (59) 矢口博久、池田光男: 明るさ評価のための測光システム, 光学, 13 (1984) 140 ~145
- (60) 湯尻 照: 照明条件による視環境評価と明るさ感に関する一検討, 照明学会全国大会, 昭和58年 (1984), 127
- (61) 納谷嘉信、橋本健次郎: 演色性の異なる照明下での二色配色の目立ち感情に関する主観評価 照明学会全国大会, (1985), 76
- (62) 吉田忠弘、橋本健次郎、金谷末子: 光源の演色性と照明の明るさ感--皮膚色票は人の顔の代

