

JIER-115

青色照明光の心理的・生理的効果に関する研究
調査委員会報告書

平成24年9月19日

一般社団法人 照明学会
青色照明光の心理的・生理的効果に関する研究調査委員会

照明学会 青色照明光の心理的・生理的效果に関する研究調査委員会 報告書

目次

1. 序章.....	3
1.1. 背景.....	3
1.2. 本委員会の目的.....	3
1.3. 本委員会の構成.....	4
1.4. 活動概況.....	4
1.5. 研究調査報告書の概要.....	7
1.6. 用語・技術等の解説.....	8
1.6.1. 青色とは？.....	8
1.6.2. 種々の光源の解説.....	10
1.6.3. 測色の際の注意.....	21
2. 青色のもたらす基本的な知覚効果と心理効果.....	22
2.1. 基本的な知覚効果や心理効果と意味.....	22
2.1.1. 青の知覚効果.....	22
2.1.2. 青の心理効果.....	24
2.2. 青というカテゴリー.....	27
2.3. 青の文化的意味.....	28
2.4. 安全色の青色および信号の青色.....	29
2.5. 青色の使用例.....	31
2.5.1. 物品の色彩における青色.....	31
2.5.2. ファッションの色彩における青色.....	34
2.5.3. 建築空間の色彩における青色.....	36
2.5.4. 光色の青色.....	37
2.6. まとめ.....	38
3. 青色発光体（短波長成分を多く含む光）.....	41
3.1. 生理指標に与える影響.....	41
3.1.1. 自律神経系に与える影響.....	41
3.1.2. 中枢神経系に与える影響.....	44
3.1.3. 内分泌系に与える影響.....	46
3.2. 眼の青色光網膜傷害.....	51
3.2.1. はじめに.....	51
3.2.2. 青色光の生体への安全性に関わる研究結果.....	52
3.2.3. 青色光の生体への安全性への取り組み.....	53
3.3. 知覚・心理的效果：不快グレア.....	56

3.3.1.	はじめに	56
3.3.2.	中心視におけるハロゲンランプ, キセノンランプ, 蛍光ランプのグレア	56
3.3.3.	中心視における白色 LED のグレア	60
3.3.4.	中心視における有彩色光のグレア	63
3.3.5.	周辺視における有彩色光のグレア	69
3.3.6.	前照灯光源の分光分布が視対象の明るさに与える影響の研究	72
4.	青色照明環境における効果	80
4.1.	生理的効果	80
4.1.1.	メラトニン分泌が起こる光の強さ	80
4.1.2.	メラトニン分泌の抑制作用に関する作用スペクトルの適用可能範囲	82
4.1.3.	メラトニン分泌の抑制作用の定量化	83
4.1.4.	他の生理指標 (中枢神経系) への影響に関する知見との相似性	84
4.2.	知覚的効果 (色順応と色の見え)	87
4.3.	視覚心理に与える効果	92
4.3.1.	屋内照明環境における効果	92
4.3.2.	屋外照明環境における効果	95
4.4.	非視覚的感覚に与える効果	99
4.4.1.	音の評価に与える効果	99
4.4.2.	食欲および味覚に与える効果	103
4.4.3.	温冷感覚に与える効果	106
5.	青色照明灯	108
5.1.	青色防犯灯の現状	108
5.1.1.	波及の経緯	109
5.1.2.	設置地区事例	110
5.1.3.	設置地区の実態調査	112
5.1.4.	青色街路灯の現地評価実験	117
5.1.5.	被疑者らの評価	118
5.1.6.	防犯カメラ画像への影響	121
5.1.7.	小括	125
5.2.	鉄道駅, 踏切設置の青色照明灯の現状	129
5.2.1.	波及の経緯	129
5.2.2.	導入例紹介	130
5.2.3.	実態調査	131
5.2.4.	まとめ	135
6.	まとめ	137

1. 序章

1.1. 背景

近年、HID (High Intensity Discharge : 高輝度放電) や青色 LED (Light Emitting Diode) 等、短波長成分を多く含む光源が急速に普及している。

これらは従来の光源とは異なる分光分布を持つことから、既知の明るさ感やグレア特性では見えを予測できないことが懸念されている。また、青色 LED を用いた新光源は極端に高い短波長成分を含む。そのピークが、人間の網膜にある光受容細胞の S 錐体や、近年発見された内因性光感受性網膜神経節細胞 (ipRGC または、mRGC) の感度ピークと近いため、短波長成分が生体リズム等に与える影響も示唆されている。これらの視覚や生体への影響について注目が集まっており、活発に研究が行われてきている。

また青色は鎮静作用があると言われ、青色防犯灯や駅ホームでの自殺防止用青色灯の設置が広がりつつある。青色照明光の防犯灯や自殺防止灯への活用は、一般的に言われる青色の心理的効果 (鎮静効果等) の知識に基づいた発想によるものと考えられる。しかしこれらの効果の説明には、根拠が曖昧なもの、実際の照明環境に適用可能か明確でないものも多い。したがって青色の心理的効果に関する正確な情報を調査することは重要であると考えられる。また、これらの青色灯は導入されて既に数年が経過している。根拠の問題は別にして、実際に期待した効果が得られているのかについての検証も必要である。

これらの動向を受けて、近年、照明の分野では、様々な方面で「青色」というキーワードが目につくようになってきた。しかし現状では、青色照明光の見えやその心理的・生理的効果について議論が必ずしも十分ではなく、実際に青色照明光を使用する際の指針も確立していない。

1.2. 本委員会の目的

本委員会の目的は、青色光をキーワードに、その心理的・生理的効果に関する研究の動向を調査すること、それらの知見の適用範囲を明確にすること、さらに検討すべき課題を提案することである。特に、青色照明光の見え(明るさ・グレア等)、心理的効果(防犯等)、生理的効果(生体反応等)について重点的に調査する。これにより青色照明光を適切に使用するために必要な、系統的な情報を青色照明光の利用者に提供したい。

工学技術分野においては、心理学分野の知見や研究に触れる機会が少なく、背景知識も乏しい。本委員会は、心理学分野の青色に関する事項から、心理、生理学な研究、実際の活用例という、多角的観点から青色照明光を捉えることを目的として活動を行った。2年間の調査活動を行った結果をまとめたものが本報告書である。

1.3. 本委員会の構成

青色照明光の心理的・生理的効果に関する研究調査委員会の構成は以下の通りである(所属は委員会活動終了時のもの)。

- 委員長 溝上陽子 (千葉大学 大学院融合科学研究科 知能情報コース)
- 幹事 北村薫子 (武庫川女子大学 生活環境学部 生活環境学科)
山口秀樹 (立命館大学 情報理工学部 知能情報学科)
- 委員 井上容子 (奈良女子大学 生活環境学部 住環境学科)
喜多靖 (スタンレー電気株式会社 研究開発センター)
神農悠聖 (大手前大学 メディア・芸術学部 メディア・芸術学科)
古賀翔大 (東芝ライテック株式会社 技術本部)
小林正自 (株式会社小糸製作所 研究所)
高橋良香 (千葉大学 工学研究科 デザイン工学科)
名取和幸 (一般財団法人日本色彩研究所 研究第1部)
望月悦子 (千葉工業大学 工学部 建築都市環境学科)
森田和元 (交通安全環境研究所 自動車安全研究領域)
八木裕司 (パナソニック株式会社 ライティング社 照明システム R&D センター, 先行開発グループ)

1.4. 活動概況

本研究調査委員会は2010～2011年度の活動期間内に合計8回の委員会を開催した。

【第1回委員会】

- 開催日時・場所：2010年6月9日 14:00～17:00 立命館大学東京キャンパス
- 配布資料：議事次第(1-1), 新設委員会提案書(1-2), 平成22年度事業計画案(1-3), 委員名簿(1-4)
- 議題：1. 自己紹介, 2. 委員会活動における注意事項の説明, 3. 設立趣旨についての説明, 4. 委員会の方針, 5. 次回日程

【第2回委員会】

- 開催日時・場所：2010年9月1日 14:00～17:00 立命館大学東京キャンパス
- 配布資料：第1回議事録(案)(2-1), 委員名簿(修正版)(2-2), 文献リスト(2-3), 文献要約(2-4), 有彩色光照明ガイド(2-5)
- 議題：1. 新規委員の紹介, 2. 議事録確認, 3. 文献リストの検討, 4. 調査報告書の検討, 5. 調査方式の検討, 6. 今後の計画, 7. 次回日程

【第3回委員会】

- 開催日時・場所：2010年12月16日 16:00～19:00 立命館大学東京キャンパス

配布資料：第2回議事録（案）（3-1），鈴木先生講演資料（3-2），井上先生講演資料（3-3），
文献要約（古賀委員）（3-4），文献リスト（小林委員）（3-5）

議題：1. 議事録確認

2. 話題提供 「色彩の効果とその背景にあるもの」鈴木恒男先生（慶応義塾大学）

「有彩色光の効果」井上容子先生（奈良女子大学）

3. 文献リストおよび文献 pdf の共有方法について，4. 次回予定

【第4回委員会】

開催日時・場所：2011年3月7日 13：30～17：00 大阪中央公会堂

配布資料：第3回議事録（案）（4-1），野口様講演資料（4-2），明石先生講演資料（4-3），

議題：1. 議事録確認

2. 話題提供 「青色光の生物時計機構への作用」野口公喜様（パナソニック電気株式会社）

「青色照明に関する研究」明石行生先生（福井大学）

3. 次回予定

【第5回委員会】

開催日時・場所：2011年4月27日 14：00～17：00 立命館大学東京キャンパス

配布資料：第4回議事録（案）（5-1），事業報告・事業計画案（5-2），文献紹介票（5-3～8）

議題：1. 議事録確認，2. 今年度の事業計画について，3. 主要論文についての意見交換，

4. 過去の資料の配布について，5. 今後の委員会の方針について，6. 次回予定

【第6回委員会】

開催日時・場所：2011年8月1日 15：00～18：00 照明学会会議室

配布資料：第5回議事録（案）（6-1），小林委員講演資料（6-2～4），文献紹介票（6-5）

議題：1. 議事録確認

2. 話題提供 「光源の分光分布が明るさに与える影響」小林委員

3. 報告書作成にむけて，4. 次回予定

【第7回委員会】

開催日時・場所：2011年12月15日 16：00～19：20 立命館大学東京キャンパス

配布資料：第6回議事録（案）（7-1），京急青色照明設置個所資料（7-2_1～3），報告書資料

（青色の心理効果）（7-3_1,2），報告書資料（青色発光体）（7-4_1～5），報告書資料（青色照明環境）（7-5_1,2）

議題：1. 議事録確認，2. 青色防犯灯，自殺防止灯について，3. 報告書目次案，4. 次回予定

【第8回委員会】

開催日時・場所：2012年3月15日 15：00～19：00 武庫川女子大学東京センター

配布資料：第7回議事録（案）（8-1），

議題：1. 議事録確認，2. 自殺防止灯の使用実態調査について，3. 報告書原稿について，
4. 文献リストについて，5. 公開研究会開催について

1.5. 研究調査報告書の概要

本研究調査報告書の概要は下記の通りである。

「1. 序章」では、研究調査委員会の設立趣旨や活動状況について述べる。また、技術解説（青色とは？、種々の光源の解説）を行う。

「2. 青色のもたらす基本的な知覚効果と心理効果」では、青の知覚的効果（知覚現象、膨張色など）、「青」がもたらす心理的な意味、さらに文化的側面から実用的な利用例等、幅広く「青色」の効果について解説する

「3. 青色発光体（短波長成分を多く含む光）」では、青色光源や車のヘッドランプ等、青色発光体そのものを見たときに生じる、生理的効果（生理反応に与える影響、網膜障害の危険性）と知覚・心理的効果（不快グレア、明るさ、色、視認性など）についての解説と関連研究紹介を行う。

「4. 青色照明」では、部屋や物を照らす青色照明（または青色照明で照らされた部屋や物）が与える、生理的効果（覚醒、生体時計など）と知覚的効果（照明光への順応、色の見え、など）、青色照明空間の印象・心理的効果、他感覚への影響（聴覚、味覚、温感など）についての解説と関連研究紹介を行う。

「5. 青色照明灯」では、日本で導入されている青色防犯灯の現状についての解説と、種々の調査の紹介を行う。また、自殺防止のために鉄道駅や踏切に設置されている青色照明灯の現状を、導入例と実態調査結果をもとに紹介する。

1.6. 用語・技術等の解説

ここでは、報告書全体に関わる用語の定義、技術の解説を簡単に行う。

1.6.1. 青色とは？

「青色」の定義とは何であろうか？私たちは色名を当たり前に用いており、改めて説明しようとするのが大変困難である。広辞苑では「青：①七色の一つ。また、三原色の一つ。晴れた空のような色。②緑色。③青信号の略。（後略）」、「青色：①晴天の空のような色。②青。また、緑色・藍色を含めての総称。（後略）」と記載されている¹⁾。

青色は感覚量であるので、どのような物理特性・測色値を持っていても、人が“青色に見える”と感じればそれは青色である。青色の定義は、“青色に見える”としか言いようがないのではないだろうか。

ただし、“青色に見える”状態と光の物理特性や測色値には一定の関係がある。電磁波のうち可視光の範囲は、一般に短波長側を 360 nm から 400 nm の間、長波長側を 760 nm から 830 nm の間とされているが、実用的には波長が約 380～780 nm とすることが多い。一般的に、可視光領域のうち短波長成分を多く含む光や短波長成分を多く反射する物体は青色に見える。単色光の場合、約 467～483 nm が青の範囲であり、430～467 nm はすみれがかかった青、483～488 nm は緑がかかった青とされている²⁾。単色光においてユニーク青（赤みも緑みも含まない純粋な青）を求めると、実験条件間、被験者間のばらつきはあるが、472 nm 周辺になると報告されている³⁾。

光の三原色としての青も、短波長光で定義される。国際照明委員会（CIE）は 435.8nm の波長を RGB 表色系において青(B)と規定している。そして CIE1931xy 色度図における青色は、図 1.6.1 に示す通りスペクトル軌跡の短波長光に近い領域である³⁾⁴⁾。ただし、カテゴリカルカラーネーミングの研究の結果は、青のカテゴリの領域は、観察条件や実験刺激（CRT モニター、色票）により変化することを示している^{5,6)}。

反射物体の青色でも同様に、短波長成分を相対的に多く反射する紙は青色に見える。各種の顕色系表色系（Munsell, Natural Color System, Ostwald, DIN, OSA, etc.）でも、それぞれの色空間において青成分・青領域を定義している。

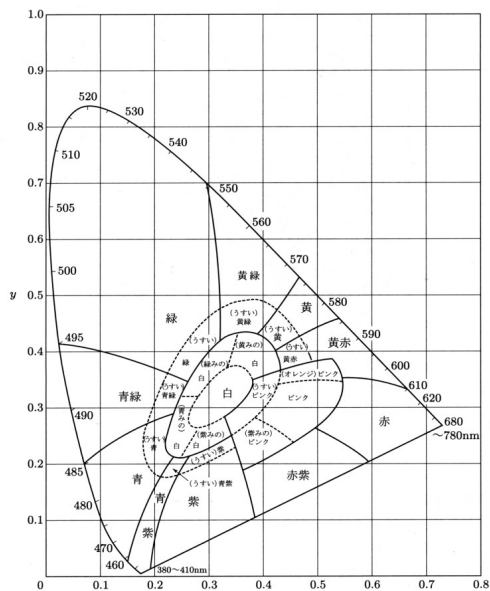


図 1.6.1 系統色名の一般的な色区分 (JIS Z8110 色の表示方法-光源色の色名, 参考付図 1)

例として、マンセル・カラーチャートの青色の反射率の例を図 1.6.2 に示す。カラーコードとしての青色は、紙の反射特性、絵の具や塗料の材料により規定されている。

しかし前述の通り、青色は人間の感覚の上でしか存在しないものであり、色順応や色対比、視環境や観察条件の違いによっては、物理的に短波長成分を多く含むものが全て青色に見える訳ではないことに注意が必要である。

これまで述べてきたように、青色と光の短波長成分には密接なつながりがある。人間の網膜にある光受容体のうち、明るい環境では L, M, S 錐体 3 種類が働く（暗い環境では桿体が働く）。図 1.6.3 に錐体と桿体の分光感度特性を示す。このうち、短波長領域に感度のピークを持つ S 錐体の応答量が、青色知覚量の増加を引き起こす。単色光の場合、S 錐体のみを刺激するため青色に見える。この意味では、S 錐体応答と青色対応関係があるといえる。ただし色の知覚は三錐体応答の相対的な関係で決まるため、S 錐体応答が高くても L および M 錐体の応答とのバランスによっては「青色」とは知覚されない。例えば、S 錐体応答が高くても L と M の応答も高ければ「白色」に見える。

上記の理由から、本委員会では「知覚される青」に限定せず、短波長成分を多く含む光、すなわち S 錐体を多く刺激する光（青色成分を多く含む光）も含めて調査する。

(溝上陽子)

参考文献

- (1) 広辞苑 第六版, 新村出編, 岩波書店 (2008)
- (2) 新編色彩科学ハンドブック 第 3 版, 日本色彩学会編, 東京大学出版会 (2011)
- (3) 池田光男: 色彩工学の基礎, 朝倉書店 (1980)
- (4) K. L. Kelly: "Color Designations for Lights", J. Opt. Soc. Am. 33, pp.627-629 (1943)
- (5) 内川恵二, 栗木一郎, 篠田博之: 開口色と表面色モードにおける色空間のカテゴリカル色名領域, 照学誌 77-6, pp.346-354 (1993)
- (6) 照明環境とカテゴリカル色認識 - 基礎から応用へ -, 照明学会「種々の照明環境における色の認識特性研究調査委員会」報告書 (2001)

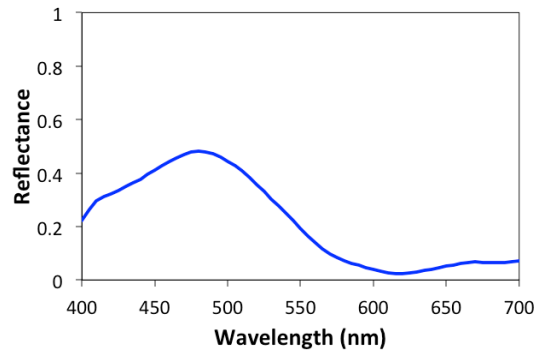


図 1.6.2 5B5/8 の分光反射率

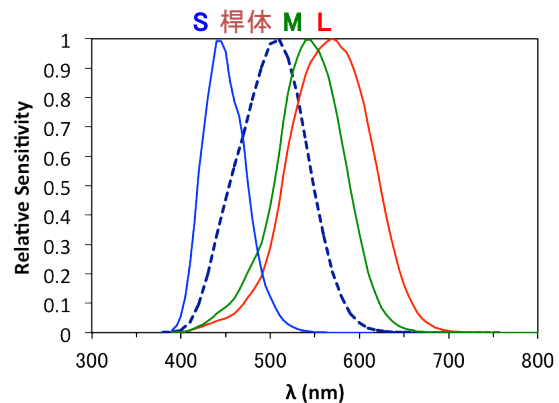


図 1.6.3 錐体と桿体の分光感度特性
桿体は $V(\lambda)$, 錐体は Stockman and Sharpe (2000) 2-deg cone fundamentals のデータを使用

1.6.2. 種々の光源の解説

1.6.2.1. 白熱電球

白熱電球は、タングステンフィラメントに電流を流すことで、電気抵抗が生じて温度が上昇し、およそ 2000 度～3000 度の高温で光るといふ熱放射の原理を応用したものである。

白熱電球のガラス球内は真空もしくは、不活性ガス(アルゴンガス)が入っている。真空の場合を真空電球、不活性ガス入りの場合をガス入り電球という。白熱電球を点灯させると黒化が生じるが、不活性ガスが入っているとその黒化がある程度は抑えられるため、ガス入り電球は真空電球よりも寿命が長く明るい⁽¹⁾。図 1.6.4 にその白熱電球の構造を示す⁽²⁾。

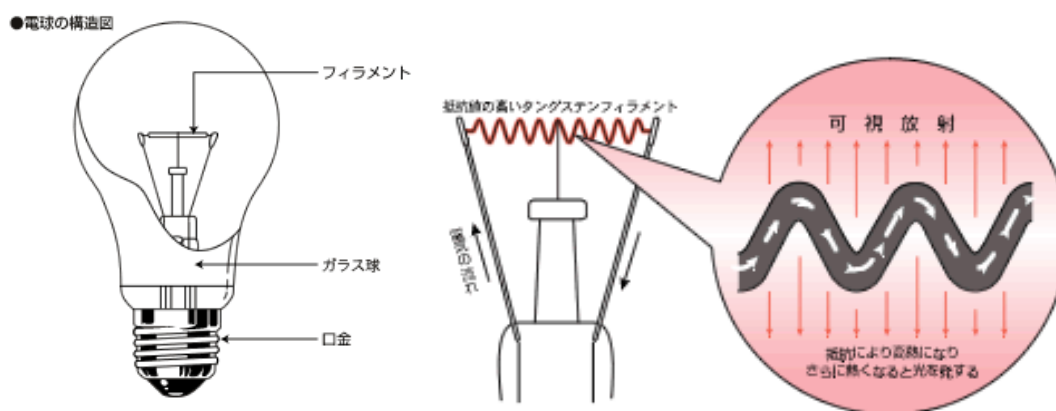


図 1.6.4 白熱電球の構造⁽²⁾

1.6.2.2. ハロゲン電球

ハロゲン電球も白熱電球と同様に熱放射の原理を応用して発光する光源である。ハロゲン電球は、不活性ガスと共に微量のハロゲンガスをガラス球内に入れることで、黒化の進行を少なくし寿命末期まで明るく保つことができるように改良がされている。フィラメントから蒸発したタングステン(W)がハロゲン元素(X)と結合し、ガラス球内の対流によって循環し、フィラメントに近づくタングステンだけがフィラメント上に堆積し、ハロゲン元素は再びガラス管近くで別のタングステンと結合を繰り返す。これをハロゲンサイクルと言う。図 1.6.5 にハロゲン電球の構造⁽³⁾とハロゲンサイクルの概念図を示す⁽¹⁾。また、図 1.6.6 にハロゲン電球の分光分布⁽⁴⁾を示す。

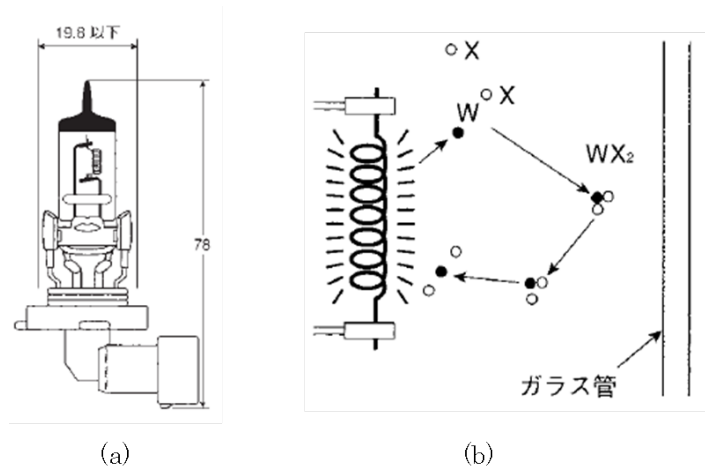


図 1.6.5 (a)ハロゲン電球 HB4 の構造⁽³⁾と(b)ハロゲンサイクル⁽¹⁾

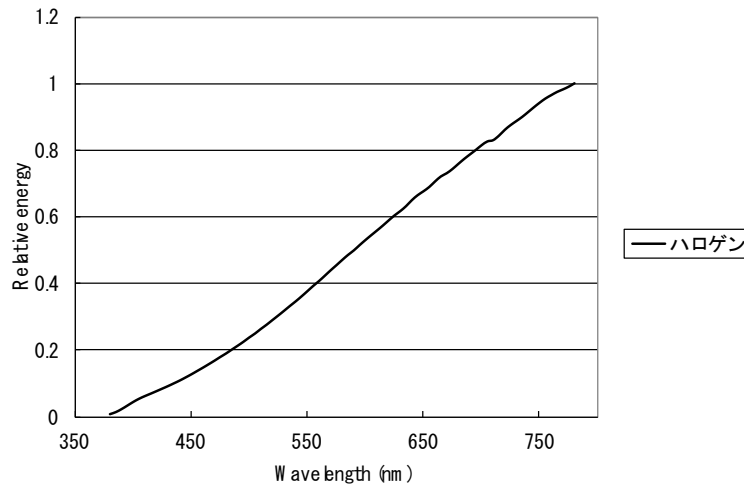


図 1.6.6 ハロゲン電球 (HB4) の分光分布⁽⁴⁾

1.6.2.3. 蛍光ランプ

蛍光ランプの構造を図 1.6.7 に示す。ガラス管の両端に電極を有し、ガラス管内にはアルゴン、ネオン、クリプトン等の不活性ガスと微量の水銀が封入されている。また、ガラス管の内面には蛍光体が塗布されている。まず、電極のフィラメントに電流を流して電極温度を高めて熱電子を放出させ、次に、両電極間に高電圧を加えることによって放電させる。放電によって電極から出た電子は水銀原子に衝突してエネルギーを与え、水銀原子から紫外線が発生する。この紫外線が内面に塗られた蛍光体を励起し可視光が放射される⁽⁵⁾。

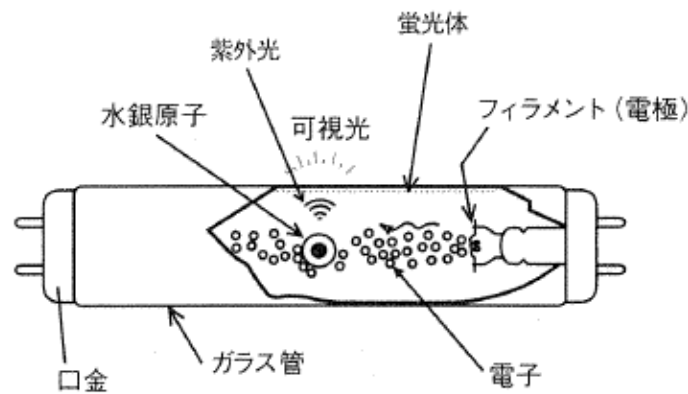


図 1.6.7 蛍光ランプの構造⁽⁵⁾

また、蛍光ランプの分光分布を図 1.6.8 に示す。ここでは、蛍光ランプの中でも代表的な 3 波長形蛍光ランプ EX-N を示す⁽⁶⁾。

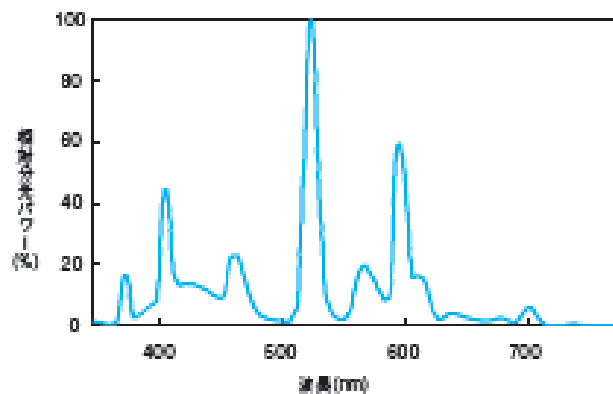


図 1.6.8 3 波長形蛍光ランプ EX-N の分光分布⁽⁶⁾

1.6.2.4. HID ランプ

HID (High Intensity Discharge : 高輝度放電) ランプは、高圧水銀ランプ、メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプの総称で、点灯中に数気圧程度になる高圧放電による発光を利用している。例として自動車前照灯用に用いられている HID ランプの構造を図 1.6.9 に示す⁽⁷⁾。また、HID の分光分布を図 1.6.10 に示す⁽⁸⁾。この HID ランプは、ヨウ化スカンジウム(ScI_3)・ヨウ化ナトリウム(NaI)・水銀(Hg)・キセノン(Xe)が封入された高圧メタルハライドランプで、口金を含むランプ全長は 75 mm、外管の直径が 9mm の小型なものである。石英ガラスからなる発光管には Xe ガス、メタルハライド(ハロゲン化金属)が密封入されており、両端には一対の電極が封止されている。この電極間に電圧を印加してアーク放電を発生させ、発光管温度が高くなり、発光管に封入しているメタルハライドが気化して発光する仕組みとなっている⁽⁷⁾。

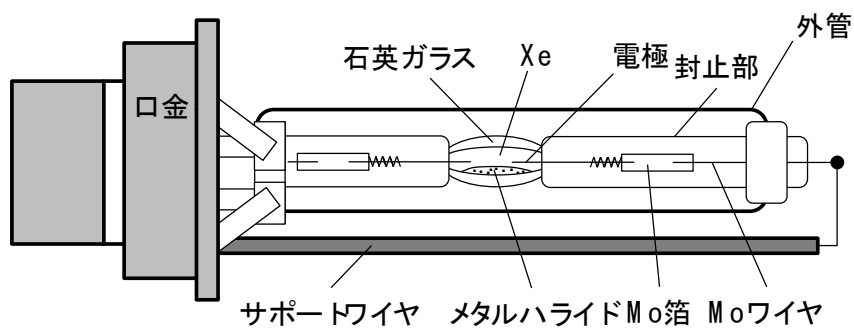


図 1.6.9 HID ランプの構成⁽⁷⁾

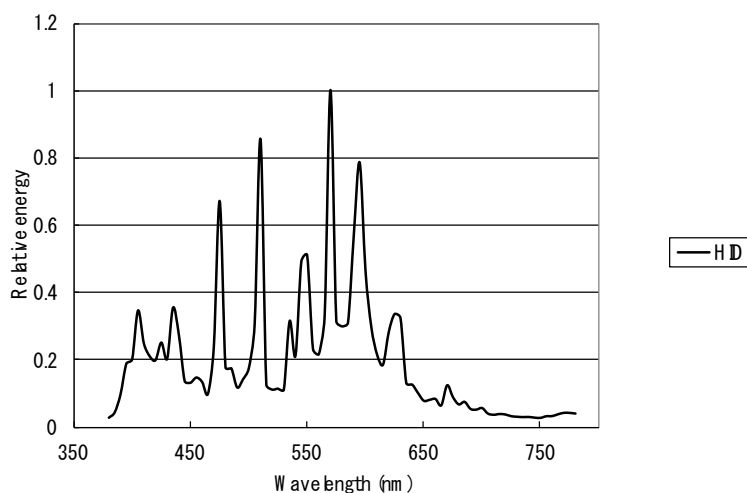


図 1.6.10 HID ランプ (D2S) の分光分布⁽⁸⁾

1.6.2.5.LED

LED とは発光ダイオード(電流を流すと発光する半導体素子)のことで、Light Emitting Diode の頭文字である。図 1.6.11 に示すように、LED 素子の基本構造は、p 型半導体と n 型半導体が接合された pn 接合で構成される⁽⁹⁾。LED の発光原理に関して図 1.6.12 に図示した⁽⁹⁾。電子のエネルギーを光エネルギーに変換するには、LED に順方向の電圧をかけ電流を流し、pn 接合部に電気のキャリアを注入する。n 型半導体においては電子が、p 型半導体においては正孔がキャリアにあたり、pn 接合部分で電子と正孔が再結合し電荷が消滅する。この時バンドギャップにほぼ相当するエネルギーが光として放出される。

この LED は、小型・低消費電力の特徴を生かして電子機器のインジケータのほか、情報表示板、液晶のバックライトなどに利用されている。また、最近では LED の発光効率の向上により高出力の白色 LED が登場し、一般照明や自動車用のヘッドランプ、街路灯など照明用途に幅広く利用されるようになってきた。

LED の構造としては、①砲弾型、②表面実装型があり図 1.6.13、1.6.14 にその構造を示す⁽⁹⁾。①砲弾型は、LED 素子、リードフレーム、ボンディングワイヤと封止樹脂から構成

される。まず、LED素子をリードフレームにダイボンディングし、ワイヤをLED素子とリードフレームに接合させ、樹脂注入したレンズの型にワイヤボンディング済みのリードフレームを成型することで作成される。この砲弾型のLEDではパッケージを形成する樹脂に熱が伝わり、劣化により寿命が短かったが、②表面実装型は、回路が印刷されたプリント基板上にLED素子をダイボンディングすることで、放熱性を高めている。

尚、発光される色は、半導体の材料で決まり、Ⅲ属元素のAl（アルミニウム）、In（インジウム）、Ga（ガリウム）とⅤ属元素のN（窒素）、P（リン）、As（砒素）との化合物が使われている。一例として発光色とその材料系を示すと、青～緑色はInGaN系、黄緑色はGaP系、黄～赤色はAlGaInP系やGaAsP系、赤色はGaAlAs系などである⁽¹⁰⁾。また、図1.6.15にLEDの分光分布を示す⁽¹¹⁾。

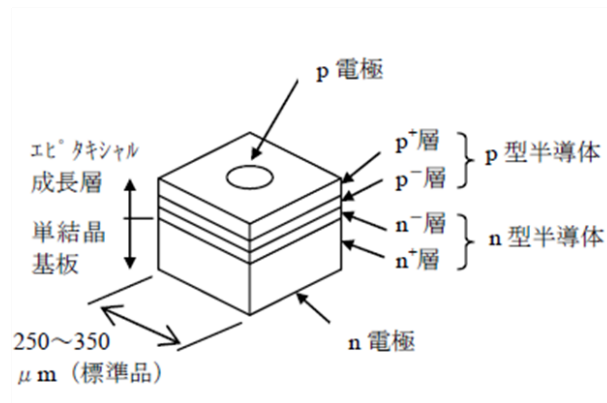


図 1.6.11 LED素子の基本構造⁽⁹⁾

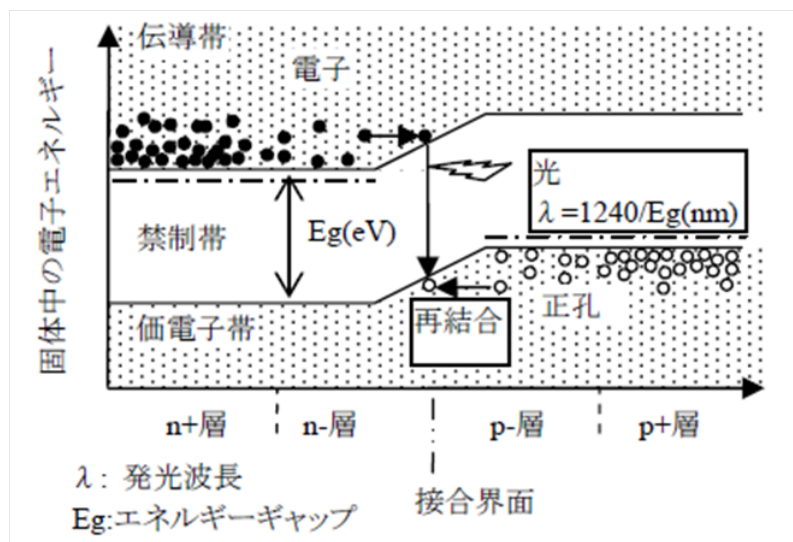


図 1.6.12 LEDの発光機構（エネルギーバンド図）⁽⁹⁾

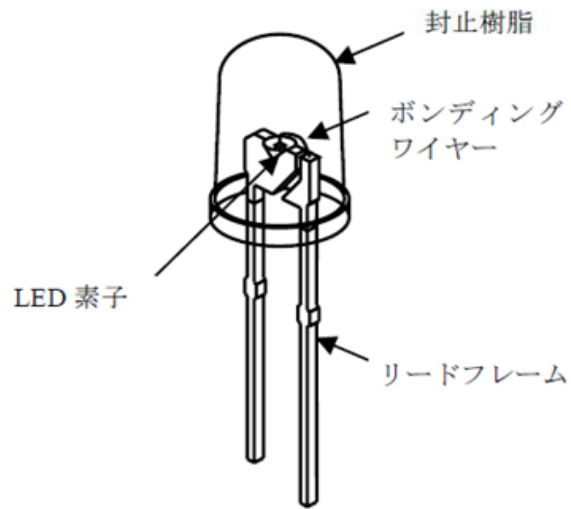


図 1.6.13 LED の構造 砲弾型⁽⁹⁾

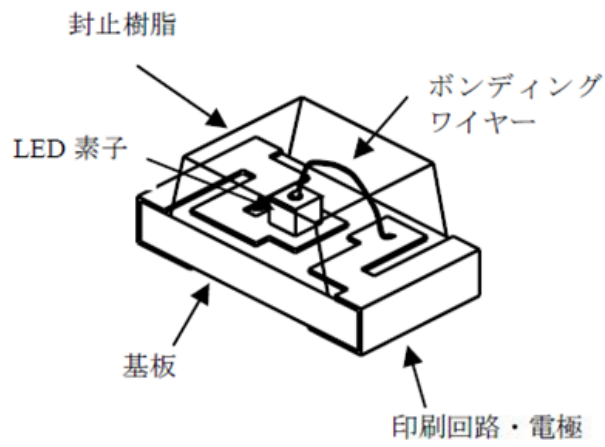


図 1.6.14 LED の構造 表面実装型⁽⁹⁾

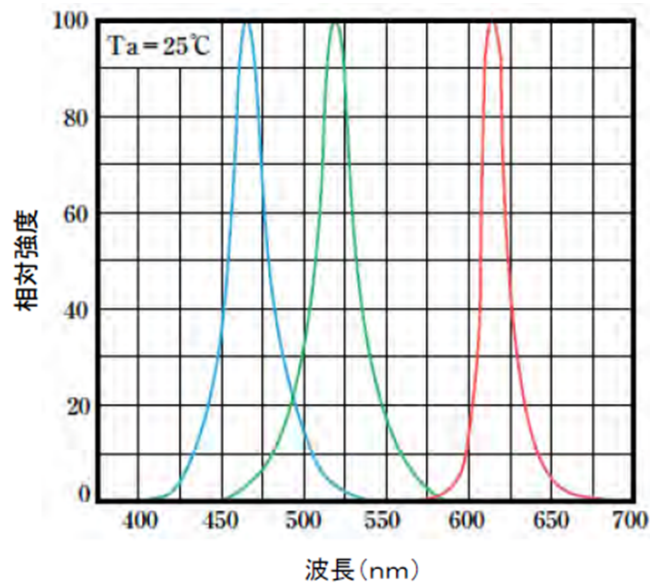


図 1.6.15 LED (赤, 緑, 青) の分光分布⁽¹¹⁾

1.6.2.6.有機 EL

近年, 新しい光源として注目されているのが有機 EL である. この有機 EL の最大の特徴は, 面発光させることができる点である. その厚さも 2 mm 程度であり, 現在, 車のメーターや携帯電話などで利用されるようになってきた.

図 1.6.16 に有機 EL の素子構造を示す⁽¹²⁾. 基板の上に発光層を陰極側の電子層と陽極側のホール層によって挟み込んで積層させたシンプルな構造である. 陰極側から電子を注入し, 陽極側からホールを注入し, 発光層で両者を再結合させることで発光させるため, LED の発光原理と似ている. また, 図 1.6.17 に示したものが, 現時点で実用的な発光ドーパントを各色の単色 EL 素子として発光させた場合の分光分布であり, 発光できる色の範囲も広い¹³⁾.

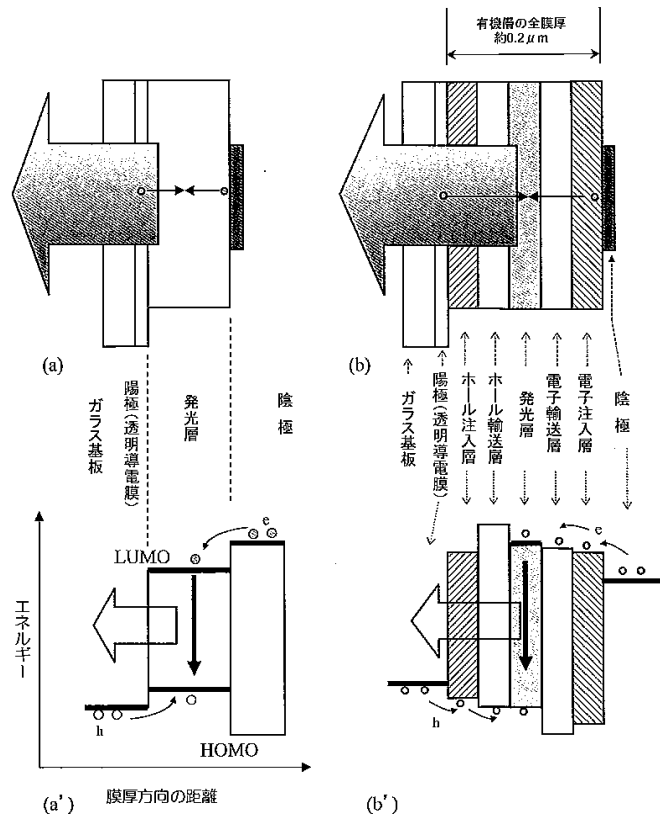


図 1.6.16 有機 EL の構造 (a), (b)有機 EL 素子の素子構造 (a'), (b')エネルギー準位図[(a)単層構造 (b)機能分離多層構造]⁽¹²⁾

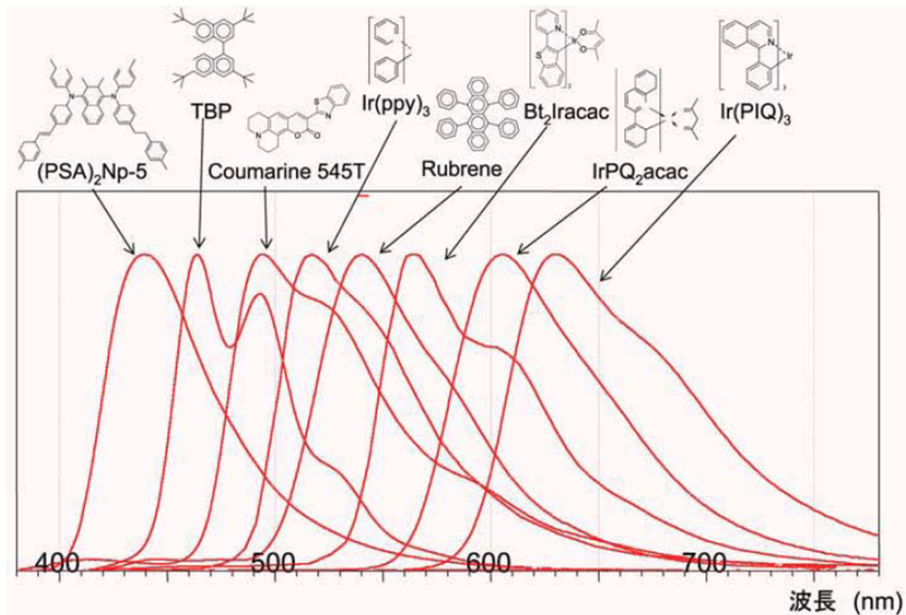


図 1.6.17 有機 EL の分光分布⁽¹³⁾

1.6.2.7. 発光効率

1.6.2.1～6 に示したように、各光源とも、著しい技術の進歩により性能の改善が進んでいる。各光源とも種類が多岐に渡るため、厳密な発光効率は示せないが、日本電球工業会が調べた照明用ランプの発光効率の変遷について図 1.6.18 に示す⁽¹⁴⁾。各光源の中でも一番なじみが深い蛍光ランプは、1970 年代 3 色の希土類蛍光体の開発によって 3 波長形蛍光ランプが普及し、また、1980 年代以降の高周波点灯化によって、更に発光効率が向上した。また、屋外施設や自動車前照灯などに用いられている HID ランプ（高圧ナトリウムランプ、メタルハライドランプ、水銀ランプ）は、1960 年代以降、急速に効率が向上している。図 1.6.19 は、ランプ電力とランプ光束の関係を示したものである。白色 LED ランプ群と比較して、HID ランプ群は光出力が大きいいため、少ない灯数で広範囲を照らす分野での期待がされる。

特に、近年目覚ましい技術進化を遂げている光源は LED である。図 1.6.18 を見ても分かるように、照明用の LED ランプが開発され約 10 年の間に約 80 lm/w までに達しており、今後の更なる効率化が期待される。

(喜多靖)

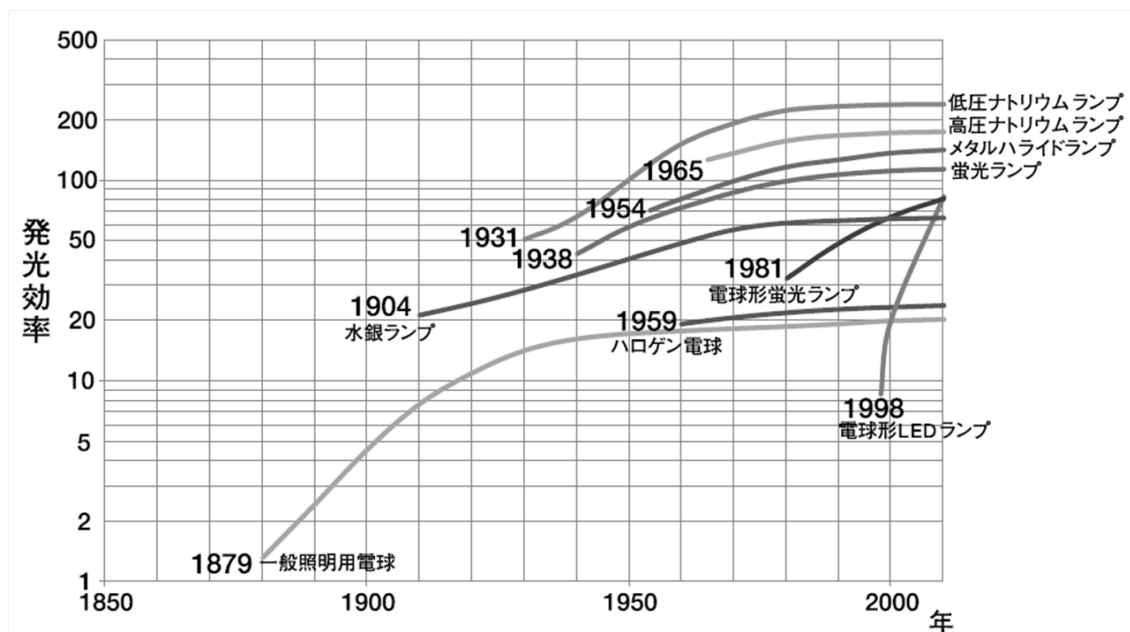


図 1.6.18 照明用ランプの発光効率の変遷⁽¹⁴⁾

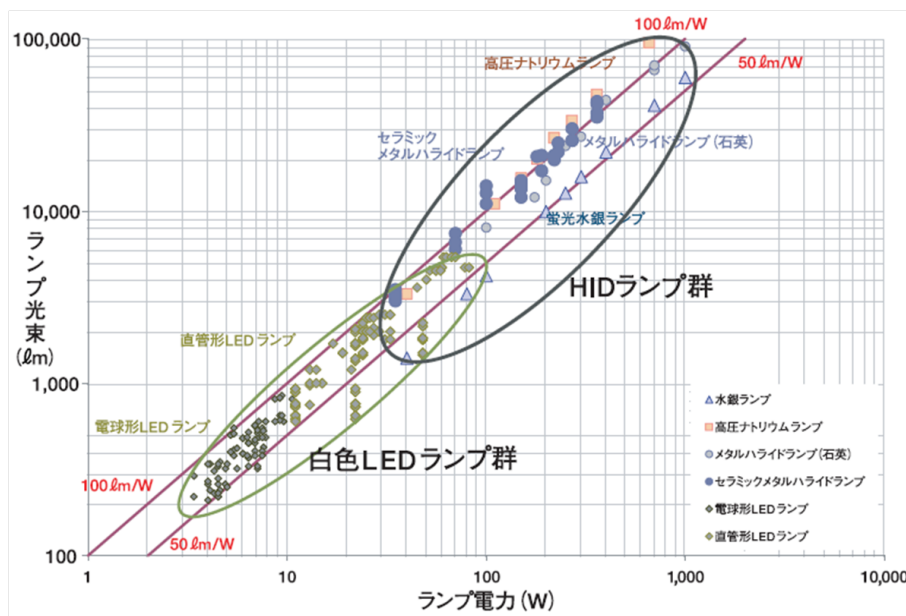


図 1.6.19 ランプ電力とランプ光束の関係(14)

参考文献

- (1) (社)日本電球工業会：光/光源の知識 自動車電球について 自動車電球ガイドブック 第2章 自動車用電球の原理と構造 p.5(オンライン) (引用日：2012年2月19日) http://www.jelma.or.jp/05tisiki/pdf/guide_car_02.pdf
- (2) (社)日本電球工業会：光/光源の知識 一般白熱電球について 電球の豆知識 (オンライン) (引用日：2012年2月19日) <http://www.jelma.or.jp/05tisiki/01haku02.htm>
- (3) (社)日本電球工業会：光/光源の知識 自動車電球について 自動車電球ガイドブック 付表1.2 (HIDランプ・ハロゲン電球) (オンライン) (引用日：2012年2月19日) http://www.jelma.or.jp/05tisiki/pdf/guide_car_08.pdf
- (4) Yasushi Kita, Shinichi Kojima, Takashi Sato, Hirohisa Yaguchi : Color Perception and Recognition under Automotive Headlight with LED, SAE Technical Paper Series, 2007-01-1036, (2007)
- (5) (社)日本電球工業会：LED照明/省エネ/環境 ランプと環境 Q&A 蛍光ランプ及び使用済み蛍光ランプに関する Q&A pp.3 (オンライン) (引用日：2012年2月19日) <http://www.jelma.or.jp/07kankyau/pdf/environment05.pdf>
- (6) (社)日本電球工業会：光/光源の知識 蛍光ランプについて 蛍光ランプのガイドブック 第2章 蛍光ランプのしくみと種類 p.7(オンライン) (引用日：2012年2月19日) http://www.jelma.or.jp/05tisiki/pdf/guide_flu_02.pdf
- (7) 出口誠, 沖雅博, 野口英彦：自動車前照灯用 Hg フリーHID ランプの長寿命化, 東芝レビュー, 63-10, pp.31-34 (2008)

- (8) 喜多靖, 永瀬達也, 佐野一賢, 溝上陽子, 矢口博久: HID と白色 LED における光源色の見えと測色値の不一致, 照学誌, 94-2, pp.92-99 (2010)
- (9) スタンレー電気: Electronic Components テクニカルノート LED の基本構造 pp.1-2 (オンライン) (引用日: 2012 年 2 月 22 日)
http://www.stanley-components.com/jp/technical_note/technical_note_top.cfm
- (10) 特定非営利活動法人 LED 照明推進協議会 JLEDS: LED 照明ハンドブック 第一章基礎編 p.7(オンライン) (引用日: 2012 年 2 月 22 日)
http://www.led.or.jp/publication/handbook/pdf/ledHandbook_01_Kiso.pdf
- (11) 特定非営利活動法人 LED 照明推進協議会 JLEDS: LED 照明ハンドブック 第一章基礎編 p.12(オンライン) (引用日: 2012 年 2 月 22 日)
http://www.led.or.jp/publication/handbook/pdf/ledHandbook_01_Kiso.pdf
- (12) 内田孝幸: 有機 EL の原理と最近の技術, 照学誌, 89-12, pp.818-822 (2005)
- (13) (社)日本電球工業会: 光/光源の知識 LED 照明/有機 EL について 有機 EL の展望(抜粋) pp.44(オンライン) (引用日: 2012 年 2 月 22 日)
http://www.jelma.or.jp/05tisiki/pdf/guide_ledel_02.pdf
- (14) (社)日本電球工業会: LED 照明/省エネ/環境 今, 改めて蛍光灯の実力に注目する. (社) 日本電球工業会 蛍光灯業務委員会 電球工業会報 No.523, pp.29-32 (2011) (オンライン) (引用日: 2012 年 2 月 22 日)
http://www.jelma.or.jp/05tisiki/pdf/02kei_AbilityOfFluorescentLamps.pdf
- (15) (社)日本電球工業会: LED 照明/省エネ/環境 期待される高演色・省エネルギー光源 セラミックメタルハイドランプの可能性 (社) 日本電球工業会 HID ランプ業務委員会, 電球工業会報, No.525 pp.19-24 (2012) (オンライン) (引用日: 2012 年 2 月 22 日)

1.6.3. 測色の際の注意

光源を測定する際に使用する機器の性能を正確に理解し、目的に応じたものを選択して使用することは非常に重要である。一般的に、照度計や輝度計等の測光測色機器には、刺激値直読型と分光測光型の2種類がある。

刺激値直読型は、光電素子の前に光学フィルタを置く構造になっている。光電素子の分光感度と光学フィルタの透過特性を組み合わせ、全体の感度が目的の特性（標準分光視感効率等）になるよう設計されている。したがって、この感度がどれだけ目的の特性に近いによって測定精度が決まる。分光測光型は、プリズムや回折格子を用いて、光を各波長成分に分けて計測する。これにより入射光の分光分布が得られ、これに目的の特性（標準分光視感効率等）を掛け測色値を計算する。一般的に、精度は刺激値直読型より分光測光型の方が良いが、低価格や携帯性という点では刺激値直読型の方が勝る。

従来の光源とは異なる分光分布特性を持つ新光源、特に急峻なピークを含む分光分布の測定の際は、測色値の誤差が大きくなる可能性があることに注意したい。刺激値直読型の場合は測定機的设计感度、標準観察者の感度のずれの波長依存性、光源の分光分布の組み合わせによっては誤差が強調される可能性がある。また、分光測色型の場合は、波長分解能が低い場合、光源の分光分布のピーク部分をサンプリングしきれない可能性がある。

測定機の仕様書に記載されている精度は、校正用の標準光源下における値である。各機器の仕様と保証される測定条件等を確認することが必要である。

(溝上陽子)

2. 青色のもたらす基本的な知覚効果と心理効果

観察者から等距離の位置に置かれていても、青い物は赤い物よりも遠くにあるように見える。青には冷たい印象があり、知的な印象も感じられる。本章では、このように「青く」知覚されることや「青」という概念に、どのような知覚的あるいは心理的な効果や意味があるのかについて、その基本的な知見をまとめている。また日本語の表現において緑色の野菜のことは青菜と呼ばれるが、「アオ」という言葉が示すカラーカテゴリーの問題についても少し触れておく。最後に、私たちの暮らしの様々な領域の中で「青」がどのように使用されているかについての事例を紹介する。ここでは、青色光、青色照明光など光の青色に限らず、物体色も含めた青色の知覚効果と心理効果について述べる。

2.1. 基本的な知覚効果や心理効果と意味

2.1.1. 青の知覚効果

対象の色が変わると、対象までの見かけの距離や大きさ感など、色覚以外の視感覚の属性が変化することが知られている。また、色は重量感や柔硬感のような触覚的な印象など、視覚以外の感覚様相に対しても影響を与える。

1) 見かけの距離

青は実際よりも遠くにあるように見える。そうした性質をもつ色は後退色と呼ばれ、青～青紫の寒色系の色が該当する。反対に赤、橙、黄色などの暖色系の色は実際よりも手前にあるように見え、進出色と呼ばれる。この効果は、グレーのカードを机上に垂直に立てて固定し、隣の色のついたカードがグレーと等しい距離に見えるように前後に動かし、距離のズレを計測して把握することができる(図 2.1.1)¹⁾。色によって距離が変化して見える理由として、かつては目の水晶体における光の屈折率が波長によって違うことによって、色によりピントを結ぶ位置が異なるためとする考え(色収差説)が提唱されていた。しかしながら、照明を暗くすると色相が変わっても見かけの距離がほとんど変化しなくなることや、赤と緑の区別がつかない色覚異常の特性をもつ人の場合には、赤と緑の見かけの距離も同じになるという研究結果から、現在では支持されていない²⁾。したがって、色による見かけの距離感には色がもたらす印象が影響を与えていると考えてよさそうであるが、現在のところ、色により見かけの距離が変わって見える理由ははっきりとはわかっていない。

2) 大きさ感

明度の高い明るい色は大きく、暗い色は小さく見える。赤は大きく、青は小さく見えると記述された書籍もあるが、実験によれば色相による見かけの大きさへの影響は弱く、明度が等しい場合には色相が変化しても大きさはほとんど変わらないようである²⁾。したがって、青系でも明度の高い水色であれば特に小さく見えるわけではない。通常の水色は明度が低いためにやや小さく見えるということはできそうである。

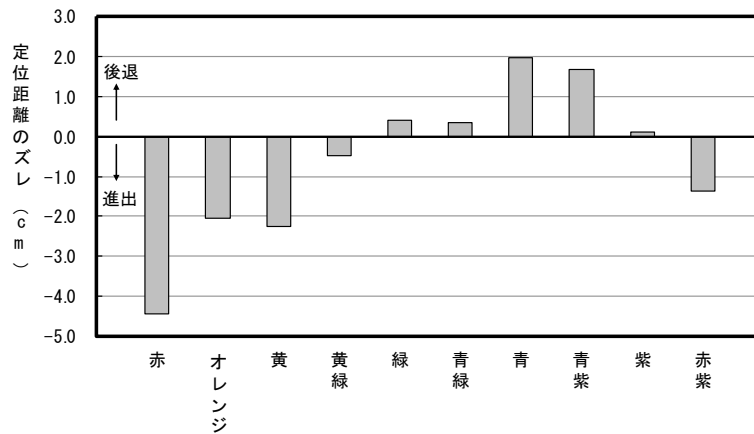


図 2.1.1 色相による見かけの距離の変化
(Oyama & Yamamura, 1960 より作図)

3) 触覚的な印象

青は冷たそうに見える。色の寒暖感は色相との関係が強く、赤・橙・黄のようないわゆる暖色系の色は暖かく、青・青紫のような寒色系の色は冷たく感じられる (図 2.1.2)³⁾。色相に比べると明度や彩度と寒暖感との関係は明確ではない。

青は硬そうに見える。硬い印象は、色相との関係でいえば寒色系において強まり、明度についていえば暗い色の方が強まる。したがって、暗い青 (紺色) は黒と並び、非常に硬そうに見える。

重量感も大きさ感と同様に明度との関係が深い。同じ青系の色でも明度が高い水色になれば軽やかになり、暗い紺色だと重たそうに見える。

寒暖感と硬柔感については次の心理効果の節においてもう一度触れることにする。

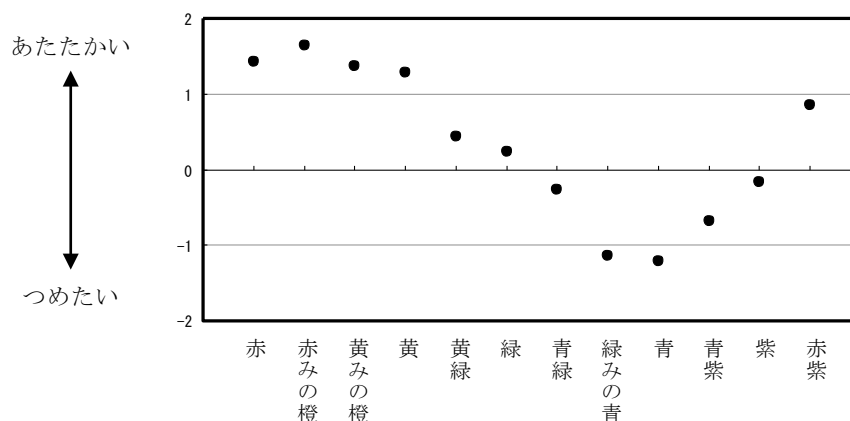


図 2.1.2 色相と寒暖感—純色の場合—
(日本色彩研究所, 2008 のデータから作成)

2.1.2. 青の心理効果

1) 青のイメージ

青から連想される言葉とイメージ評価結果を表 2.1.1 と図 2.1.3 に示す。青系の色であっても、明るく薄い青「水色：pale sky」と鮮やかな青「青：blue」、及び暗い青「紺：dark blue」のイメージはかなり異なる。表 2.1.1 はそれぞれの色の色票から連想される語を、回答頻度の高いもの、具体的な事物、形容語や抽象的な概念に分けている⁴⁾。図 2.1.3 は SD 法調査により得られたイメージプロフィールである³⁾。

表 2.1.1 色彩連想語（日本色彩研究所，2005 より）

色	高頻度連想	具体的連想語	抽象的連想語
水色 5B 8/3	空，水，さわやか，きれい，やわらかい，軽い	水，水たまり，雨，春，プール，トイレ，空気，春の空，朝，雲，夏，赤ちゃん，子供，冷蔵庫	冷たい，寒い，うすい，明るい，やさしい，かわいい，すがすがしい，澄んでいる，清潔な，広い
青 3PB 3.5/9	海，空，冷たい，深い，水	宇宙，深海，夏，子供，夜，湖，夕暮れ，絵の具，海底，信号	寒い，かたい，強い，汚い，クールな，濃い，こわい，さわやか，静かな，澄んでいる，きれい，人工的，あざやか，重い，嫌い，濁った
紺色 6PB 2/6	制服，夜，海，深海，夜空，重い，深い，かたい，暗い	車，スーツ，セーラー服，デニム，リクルートスーツ，宇宙，夜の海，雨，インク，好きな色，ペンギン	冷たい，寒い，濃い，落ち着いた，まじめな，きっちりした，カッコいい，しっかりした，きれい，伝統，陰気な，好きな，清潔な，清楚な，静か，男性的，賢い

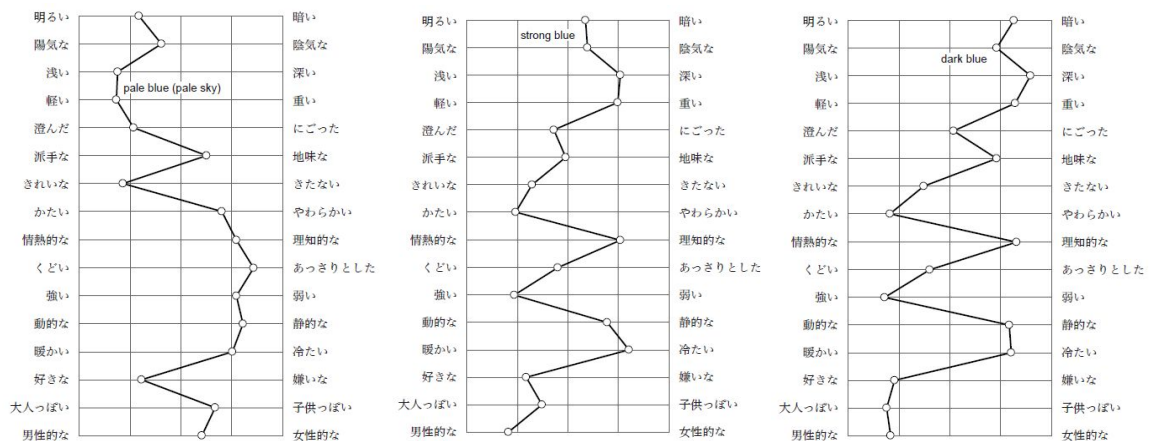


図 2.1.3 青のイメージプロフィール

(日本色彩研究所，2008)

青のイメージのうち、最も顕著なものはその「冷たさ感」である。この印象は青から最も連想される頻度が高い、海や水の持つ冷たさに由来すると考えられそうである。さらに感覚としての冷たさは「理知的」という人の性格を表すイメージにもつながるようである。

「硬い」印象も顕著である。ただしその理由はあまりはっきりとはしない。自然の中で目にすることができる青は空や海以外では宝石のラピスラズリなど青い鉱物だが、そのために硬い印象が生まれたとまで言うことは難しいように思える。なお、同じ青でも明度の高いうすい水色になると印象はやわらかくなる。「男性的」という印象も青の特徴的なイメージである。千々岩の国際調査⁵⁾によれば男性を示す色として青は調査対象 20 カ国のすべてで上位に選ばれており、この性質は現代社会においてはほぼ世界共通とみてよい。

「さわやかさ」「心地よさ」というイメージもある。これは空や海が青くなる晴天の日のイメージと関係があるかもしれない。

抽象的な連想として挙げられることもあり、青が象徴する意味として「夢、理想、永遠」という側面がある。青空や青い海の青は見ることはできても直接手で触れることができない青である。そこで炎や血のような身近な触れることのできる赤とは異なる、ある種の抽象性が感じられ、そしてその抽象的な感触が、「夢、理想、永遠」のような手の届かないような憧れにもつながるのではないかと考えることができる⁶⁾。このことは、遠くに見える後退色とのつながりも感じられる。青には「誠実さ」という連想もある。いい加減さの反対で、青にはきちんとした印象が強い。

同じ青系でも、純色や明清色（純色に白を混ぜた色調。青の場合は水色）からはさわやかさが感じられるが、暗い色調になると夕闇や夜のイメージとなり、音楽のブルースにつながるような悲しみや哀愁、憂鬱な色としての印象が生まれる。

2) 青の嗜好傾向

色の好き嫌いは、特定の商品の場合と、特に商品などを特定せず、色から感じられるイメージとしての好き嫌いの場合がある。ここでは後者の一般的な「青」色への好き嫌いの傾向について記す。具体物における例は次の 2.2 に譲る。

青は世界共通に最も好まれる色である。これは世界中で行われてきた多くの調査結果から確認されている。例えば、イギリスの心理学者アイゼンクは、第 2 次大戦までに行なわれた総計 2 万人以上に及ぶ 26 の調査結果をまとめ次の結論を述べている⁷⁾。「人が最も好むのは青であり、赤、緑、紫がそれに続く。最も嫌われるのは黄色ないしオレンジである。そしてこの傾向は性・人種を超えて普遍性をもつ」と（図 2.1.4）。また 20 カ国の大学生を対象に数多くの色票を用いて実施された千々岩の調査でも、青はほとんどの国で嗜好上位に位置している（図 2.1.5）⁵⁾。また、日本色彩研究所による 1979 年から 1994 年まで毎年、東京と大阪で実施した調査においても青は常に上位に位置している。

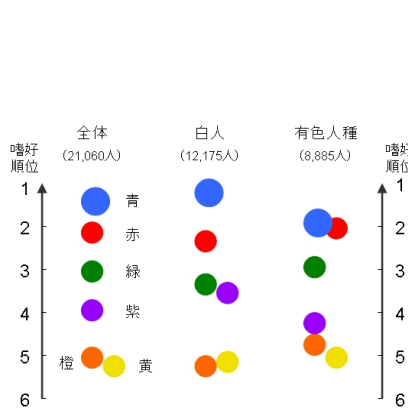


図 2.1.4 嗜好上位色
(アイゼンク, 1941 から作図)



図 2.1.5 嗜好上位色
(千々岩, 1999 を改編)

そして青は嫌われない色という特徴も有する. 日本色彩研究所による経年調査によれば, 青はいずれの年においても嫌いな色として選択される割合は極めて低い. 青は好まれやすく嫌われにくい色である. 似た傾向を示す色に緑や白がある. 一方, 赤や黒は好きな人が多いが, 好き嫌いの個人差が大きく, 嫌いな人も多い (図 2.1.6).

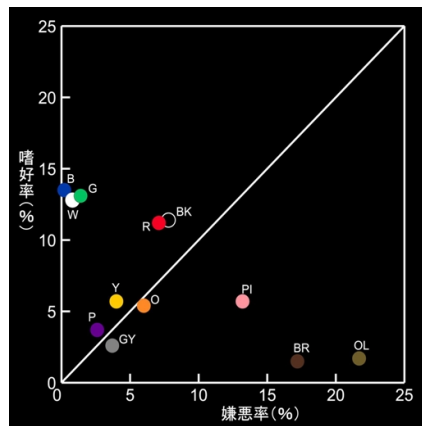


図 2.1.6 色彩好悪の傾向 (日本色彩研究所 1994 より作図)

青は男女双方から好まれる色であるが, 鮮やかな青や濃い青などは男性の方がより好み, 明るい青や水色は女性の方が好む傾向がみられる.

3) 一般書などに心理効果として掲載されているが検証されていない事項

書籍やインターネットには, 青には, 脈拍や血圧を抑える, 集中力が高まる, 気持ちを落ち着かせる, 室温が下がって感じられる, 時間間隔を遅らせるなどの効果があると書かれている. そのうちのあるものは確かに, 青から感じられるイメージを媒介刺激として引き起こされる認知的反応として生ずる可能性は否定できないが, いずれもその効果が科学的な検証により明らかにされておらず, はっきりとはわからないというのが現状である.

例えば、「マイナスイオンは身体に良く、疲労回復、精神安定をはじめとする健康増進の働きがある」という記述が以前流行した。こうした考え（仮説）を科学者は実験的根拠が希薄なため、そうは言えないと判断をする。ところが一般の多くの人は、科学的な用語が使用されていたり、自分の思いや体験から直感的に肯定できる効果であればそうした効果が確かに存在すると納得してしまいやすい。ちなみにこうしたものは擬似科学（Pseudoscience）と呼ばれている。血液型性格論などはその代表例の一つである。

①Hue-Heat 仮説

色の場合、対象の印象に及ぼす色の効果は明白である。赤い部屋は暖かい印象になり、青い部屋は涼しい印象になる。そこで、赤と青の室内では室温が3度違って感じられるという記述をみると多くの人は納得する。しかしながら、室温の感じが変わるという決定的な研究があるわけではない。室内の色相と室温感との関係（Hue-Heat 仮説と呼ばれる）についての検討によれば、壁色を変えても、室温の感じには有意な差がみられていないようである。

②時間経過感

赤やオレンジには active なイメージがあるので、刺激が強く、疲れるため、実際よりも時間を長く感じるため、回転を早くしたいファーストフード店で用いられ、青のような静かな印象のある色の空間だとそこでは刺激が弱く、気持ちが落ち着き集中力も高まり、時間が短く感じられるという説明が書かれていることが多い。しかし壁面色と時間経過感に関する実験結果は色の効果が全く反対に出ていることもあり、実際のところ、はっきりしない。

③その他

寒色系の食べ物は少ないため、食べ物を青く着色すれば不味そうに見えて食欲は落ちるだろう。青いものやブルーを配した空間には落ち着いた静かな印象がある。しかしながら青に沈静作用があるかどうかははっきりしない。

なお好きな色と人の性格についても同様なことがある。青が好きな人は、青のイメージが好きなのである。青には冷静で知的なイメージがある。だからといってその人は冷静で知的かどうかはわからない。

2.2. 青というカテゴリー

様々な言語を対象とした、色を分類するための基本的な言葉（基本色彩語*という）に関する研究がある^{8) 9) 10)}。

※基本色彩語とは

以下のような条件に適う、色を表す言葉。その言語を話す人なら誰でも知っている、誤解されない、複合された語でなく短い、包括的な語を優先する、特定の分野でしか使わない言葉や最近の外来語は除くなど。

基本色彩語には次のような特徴があることが述べられている。

- ・人類の言語に共通する、普遍的な 11 種の基本色彩語がある。
- ・それは生理学的機構との対応をもつような根源色 6 色（赤緑黄青白黒）と、根源色の組み合わせにより生まれる派生色 5 色（桃橙紫茶灰）である。
- ・ただし全ての言語に 11 語があるわけではない。最少で 2 語、最多で 7 段階の進化段階がある。
- ・工業化が進んだ国の言語には 11 語が揃っている。

この進化段階モデルをみると、青と呼ばれるカテゴリーが独立して生まれるのは第 5 段階のことであり、その手前の段階では青と緑とが同じカテゴリーとして、同じ言葉によって表されていることがわかる（図 2.2.1）。実際、世界には green と blue の色の範囲をひとつの名前で呼ぶ言語は多い。日本でも古事記に登場する古い色名は、アカークロ、シローアヲの 4 語であったということである。そのため、その伝統は今なお残っており、green もアオという言葉当てることが多い。そのため現在でも、green の物でも青葉、青菜、青物、青りんごという言葉が使われるのである。一方、緑はといえば元々は色を表す言葉ではなく、その物がみずみずしい状態であることを示す形容語であったということである。嬰兒は生まれたばかりの生命力溢れる赤ちゃんという様子を示し、緑の黒髪というのはみずみずしい艶のある黒髪のことをいう。したがって、Blue Green に発光する信号を青信号と呼ぶのは、blue と green が分化していない伝統をもつ日本語であるからである。また赤と黄色に対する別のカテゴリーを表す短い語呂の良い言葉として、青信号と呼ばれるのである。なお、green と blue とを同じカラーカテゴリーにまとめるところは、毛髪や瞳の色が黒く濃い肌色を持つ民族の間で多いということが報告されている。

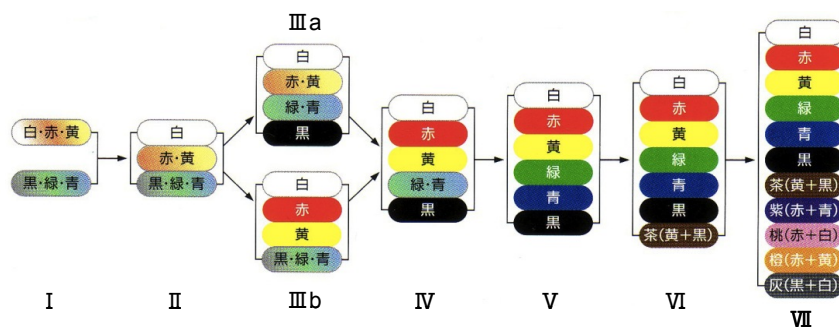


図 2.2.1 基本色彩語の進化段階 (Kay & McDaniel, 1978) ^{10) 11)}

2.3. 青の文化的意味 ^{6) , 12) ~17)}

日本において青を代表する色は「藍」である。日本の藍染めは蓼藍(たであい)によるもので、藍瓶に布を浸しては取り出し、何度も風当てて酸化を繰り返して行なわれる。その結果、藍の濃淡が生まれ、それぞれに異なる色名がつけられていた。日本は青系の中を細かく分けていたのである。江戸以降、藍染めは一層多く行なわれ、明治時代の初頭に来日した化学者アトキンソンは藍を Japan Blue と呼び、日本は青の国であると述べ、その美

しさを賞賛している。その少し後に小泉八雲も日本は神秘的な青に満ちていると書き記している。色名事典をみると浮世絵師の名から作られた Hiroshige という藍色の色名もあった。青の中でも藍色は穏やかな落ち着きが感じられ、日本的な色である。

西洋では、青は大昔の古代エジプトやローマ時代には汚くて貧しい色、ローマの敵のケルトやゲルマン人からは蛮族の色として恐れられ、蔑視の対象であったようである。その青が高貴な価値観を得たのは、中世のキリスト教 (12C) が聖母マリアの色として青に高貴な価値を与えたことによる。そして青はフランス国王の色となり忠誠さ、誠実さ、賢明さなどの象徴となった。古く古代ローマなどでは紫の染色はプルプラという貝の僅かな分泌物を使って行なうしかなく、そのためには財が必要であったことから、「紫に生まれる (born in purple)」という言葉は高貴な生まれを意味しロイヤルパープル (紫) が王者の色であったが、その後、王家の色は紫からロイヤルブルーになる (例えば「青い血」は貴族、上流階級の意)。そして後にはプロテスタント教会がモラルの色とし、その後、詩人や芸術家が、哀愁、夢、無限の色とした。また国際機関の多くは青をシンボル色にしており、公平中立、そして世界平和の色にもなっている。

(名取和幸)

2.4. 安全色の青色および信号の青色

青色を用いて特定の意味を表示する代表的なものに安全色がある。安全色は、日本工業規格により「安全を図るための意味を備えた特別の属性を持つ色」と定義¹⁸⁾されている。「安全色と幾何学的形状を組み合わせた基本形によって、一般的な安全のメッセージを伝え、図記号を加えることによって、特定の安全のメッセージを伝える」のが安全標識であることから、色は第一印象で行動判断する重要な情報である¹⁹⁾。

JIS 安全色は、ISO3864-1-2002 が大幅改正され発行されたのにあわせて、2005年に改正が行われた。この改正によって従前の規格にあった黄赤(オレンジ)及び赤紫は廃止され、安全標識に用いる安全色は赤、青、黄、緑の4色となった。青は、白を対比色として用い「指示」を表示する。蛍光青は、青が蛍光色とするほど緊急な表示でないとして除外されてきたが、技術的改良や全体のデザインのバランスに鑑みて新しく追加された。図 2.4.1 に一般材料色における CIE, JIS の安全色の色度範囲を示す²⁰⁾。

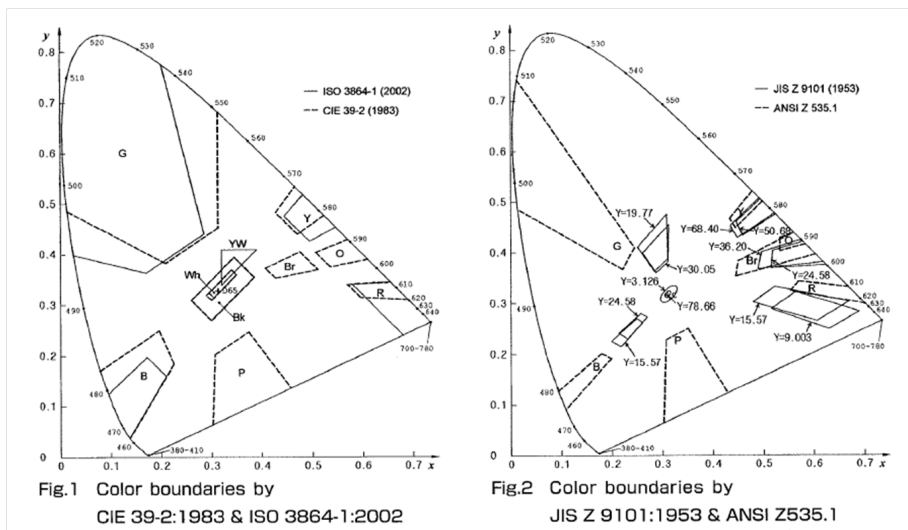


図 2.4.1 CIE 及び JIS 安全色の色度範囲 20)

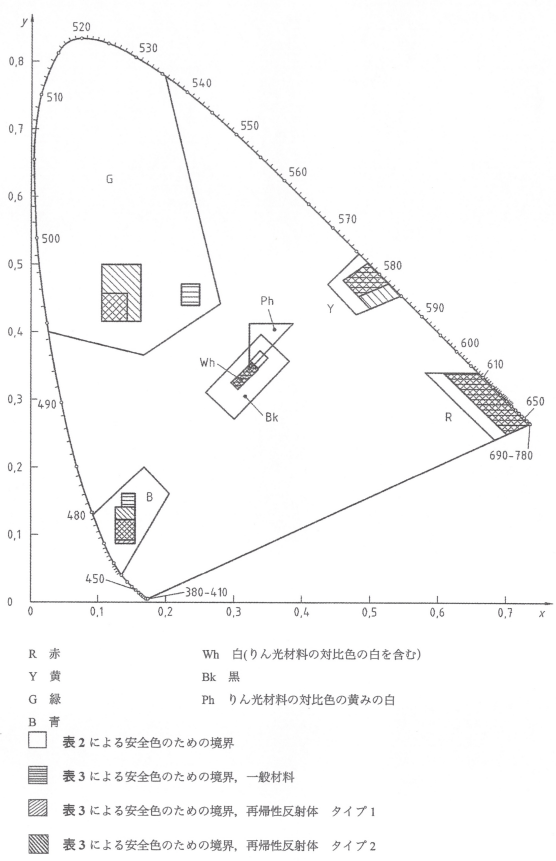


図 22 赤、黄、緑、青の安全色、白及び黒の対比色、並びに白及び黄みの白のりん光材料の対比色の範囲

図 2.4.2 JIS Z 9101-2005 における赤、黄、緑、青の安全色、白及び黒の対比色の範囲 18)

安全標識は誘目性や視認性が高いことが求められるが、案内標識、規制標識、指示標識などの青は誘目性が低く、昼間でも目立たない可能性がある 21)ほか、背景色との対比によ

る見え方の変化から、背景色の明度によっては検討が必要な組み合わせがあることが指摘されている²²⁾。

道路交通用の信号灯の色は、遠方からも明確に色を識別されることが必要であり、色覚異常者への配慮から青信号には青緑の色が用いられている。この色は赤緑色弱者には識別しやすいが、視認性と誘目性が低いことが当時から指摘されてきた。「進め」は、1930年に信号機が初めて設置された当時は緑色であったが、1989年までに約2/3が青っぽい緑色に取り替えられ、中嶋²³⁾²⁴⁾が青緑色の発光効率の低さ、加齢による水晶体黄変化から短波長光が見にくいことなどを考慮し、日本照明委員会およびCIE国際規格に合致するよう緑色に統一することが望ましいと訴えている。これに対し、警視庁交通局は「青緑色が暗いのは確かだ。色盲の場合は青色に近いほうが識別しやすい」としている⁷⁾ほか、青信号は「進め」の意味であることから誘目性が多少低くても大きな問題はないとされている⁴⁾。

航空灯や船灯については、航空灯の青色灯は誘導路灯に用いられ、比較的近距离のことであることから大きな問題とならない²¹⁾。ただし、各色光の明るさが等しいことが前提である。船灯の青色は、海上の実験から、80%の視認率を得た距離は300～350 mであり、黄、白、赤、黄赤の550～600 mより低いことが把握されている²⁵⁾。

近年はLEDを用いた道路交通信号灯が都市部を中心に普及し、従来の着色カバーによる色表示に替えて光源色を直接見ることで視認性が向上している。「進め」を示す青色は従前同様に色覚異常者に配慮して青寄りの緑の色度に設定し、赤・黄と区別できるようにされている。赤と黄が区別しにくい課題は未解決であるが、黄の輝度を上げることや、赤の中に×印に他色を配列するなどの工夫で、ユニバーサルデザインの信号灯が提案されている²⁶⁾。

2.5. 青色の使用例

2.5.1. 物品の色彩における青色

色を用いて意味を表示する例として、青色は男性、女性は赤色を用いてピクトグラムなどに使用することが多い。これは国際的に多く用いられ、言語による伝達がむずかしい場合に効果的に意味を表示している。また、平和や公平を象徴する色として青色が用いられることも多く、国際機関の記章、EUの旗などは青色を用いている。

日常的に使用している物の中には、形状設計や色彩設計の過程を経て工業生産される物品がある。これらは設計の過程で色の効果を適切に考慮して着色される。色票のような抽象的な色の知覚効果や嗜好傾向を物品の色に応用できるか検討した研究として、佐藤²⁷⁾は、パソコン、家電、乗用車などを対象に色彩調査及びシミュレーションによる評価実験を行った。対象とした物品は、特許庁の日本意匠分類を参考にした10アイテムである。これらを測色した1778件を総合すると、約1/3以上が無彩色であるものの、他は全色相にわたって分布しており、青色が多く用いられているのは携帯電話と乗用車であった(図2.5.1)。SD法による評価実験からは、乗用車は洗練度、携帯電話は好感度の尺度で青色の

評価が高い傾向がみられた。メカニカルなものへの信頼感の表現として青色が用いられることが多い²⁸⁾ことから起因するとも考えられる。

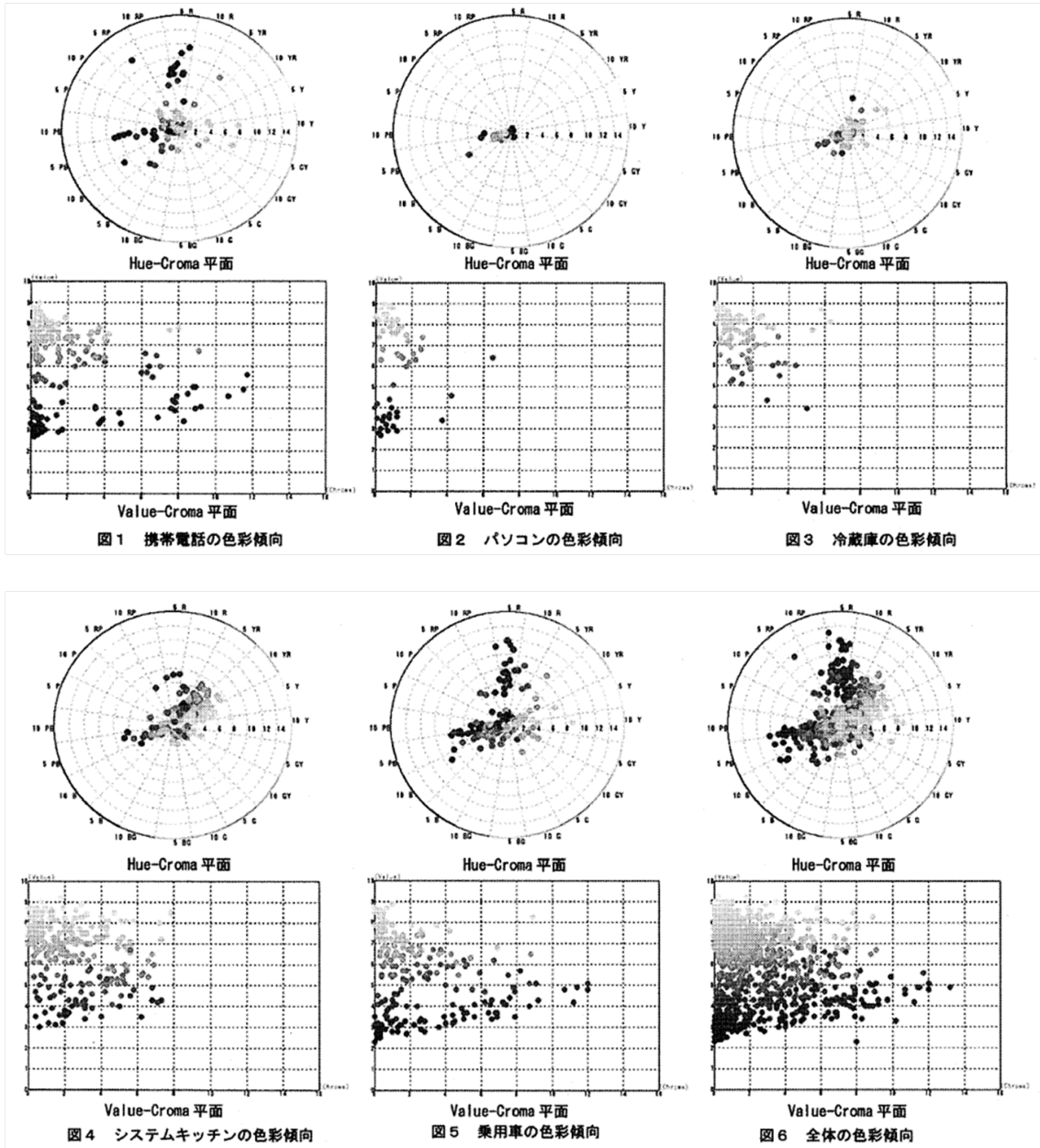


図 2.5.1 種々の物品の色彩傾向²⁷⁾

食品に関しては、大谷ら²⁹⁾が、飲料缶の色が甘さ、酸っぱさなど 21 の感覚特性に与える影響を検討し、青色は、「冷たく感じる」「爽快感を感じる」色として選択されることを明らかにした(表 2.5.1, 図 2.5.2)。一方、食物の場合には青色の評価は低い。例えば、奥田ら³⁰⁾は、食欲を増進させる・減退させる色として 50 色のカラーチャートから各 3 色を選ばせる実験を行い、寒色系の青、紫と無彩色はほとんど選ばれずに食欲増進に効果をも

たらしさないことが明らかとなった(図 2.5.3)ほか、食べ物の味からイメージする色を選択させたところ、塩味で青色と無彩色の回答が多かった(図 2.5.4)。木下ら³¹⁾も、15色の色票を呈示して甘味、苦味、酸味、塩味、旨味を7段階評定させる実験から、青色の5Bと5PBは塩味、苦味をイメージしやすく、特に低明度の青色は苦味をイメージしやすい傾向があることを明らかにした。

また、豊満ら³²⁾の研究からは、食品の複数色の組み合わせと嗜好度の関係から、紫、青、緑、黒を用いた配色が嫌い側の評価となること、食器や食卓を含めた配色でも寒色系で評価が低いことを把握している。

表 2.5.1 飲料缶の色の評価実験に使用された色およびアンケート質問項目¹²⁾

表1 カラーチップの色

色名	C	M	Y	BL	マンセル3属性値
1 ピーチ	0	20	20	0	7.5R 8.0/2.5
2 曙色	0	60	60	0	1.0YR 6.0/7.5
3 シグナルレッド	0	100	100	0	7.0R 4.0/15.5
4 真紅	30	100	100	0	7.5YR 3.5/12.5
5 葡萄茶	70	100	100	0	1.0YR 2.5/6.0
6 鳥の子色	0	0	20	0	4.0Y 9.0/1.0
7 ライムライト	0	0	50	0	8.0Y 8.5/4.5
8 カナリヤ色	0	0	100	0	8.5Y 8.0/12.0
9 アンティークゴールド	30	30	100	0	7.5Y 6.5/9.0
10 オリーブ	70	70	100	70	6.0Y 3.5/5.0
11 白緑	20	0	16	0	4.0BG 8.0/0.5
12 若竹色	60	0	48	0	8.0G 6.5/4.5
13 サマーグリーン	100	0	100	0	2.5G 4.5/13.5
14 ビリヤードグリーン	100	40	88	0	7.5G 3.5/9.5
15 クロムグリーン	100	70	94	0	2.0G 3.0/7.0
16 桜色	4	20	0	0	8.0P 8.0/3.5
17 オークキッドピンク	12	60	0	0	0.5RP 6.5/8.0
18 マゼンタ	20	100	0	0	5.0RP 4.0/15.0
19 ラズベリーレッド	44	100	30	0	5.5RP 3.0/11.0
20 ホルドー	76	100	70	0	3.5R 2.5/5.0
21 白群	20	8	0	0	8.5PB 8.0/0.5
22 ヘブンリーブルー	60	24	0	0	4.0PB 6.5/7.0
23 スペクトラムブルー	100	40	0	0	1.5PB 4.0/12.0
24 マンナブルー	100	58	30	0	10.0B 3.5/8.5
25 紺	100	90	40	0	4.0PB 2.5/5.5

表2 アンケート質問項目

1. 甘く感じるもの
2. 酸っぱく感じるもの
3. 苦く感じるもの
4. 淡く感じるもの
5. 冷たく感じるもの
6. 熱く感じるもの
7. 爽快感を感じるもの
8. 健康な感じのするもの
9. 不健康な感じのするもの
10. おいしく感じるもの
11. まずく感じるもの
12. 疲れているときに飲みたいもの
13. のどが渇いているときに飲みたいもの
14. 楽しいときに飲みたいもの
15. リラックスしているときに飲みたいもの
16. 眠たいときにのみ大もの
17. 一度は試してみたいもの
18. 絶対飲みたくなかないもの
19. 普段よく飲むもの
20. 飲み物にこだわらず一番好きな色
21. 飲み物にこだわらず一番嫌いな色

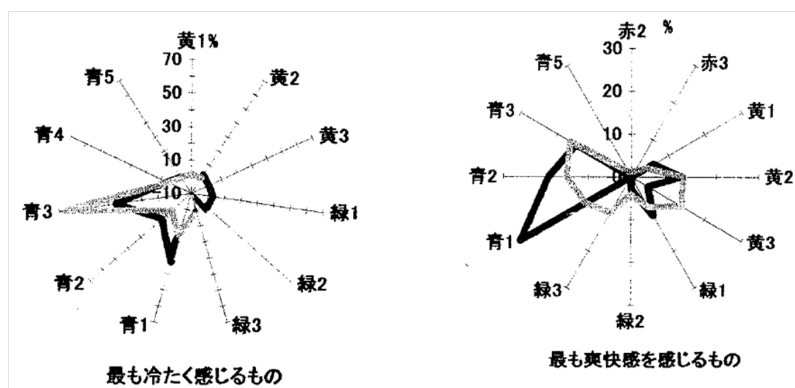


図 2.5.2 日韓で選択される色に有意差のあった感覚特性¹²⁾

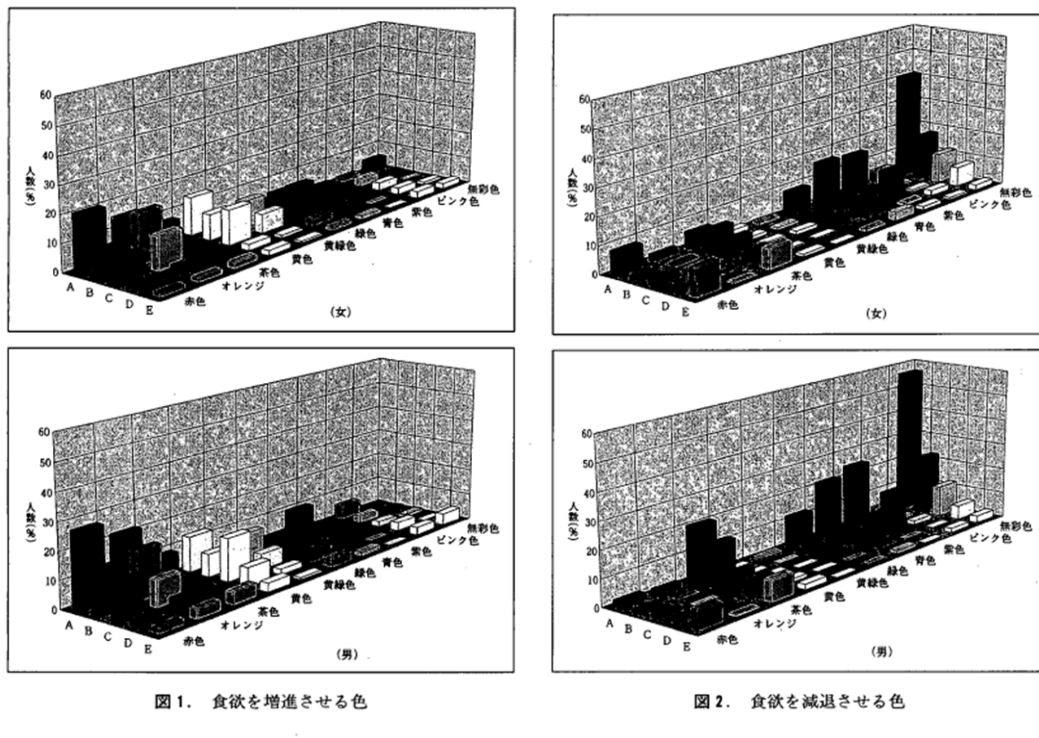


図 2.5.3 食欲を増進させる色，食欲を減退させる色¹³⁾

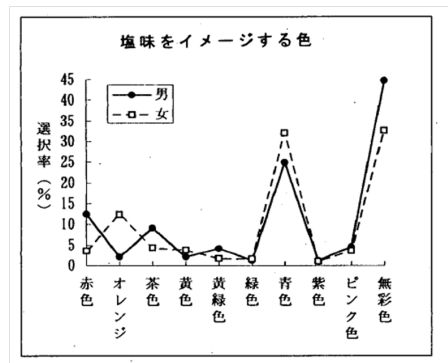


図 2.5.4 塩味をイメージする色³⁰⁾

2.5.2. ファッションの色彩における青色

衣服の着用の起源には諸説あり，身体保護の必要によるもの，羞恥をなくすためのもの，社会的な意味をもたせる儀礼道具，個人の表現のための装飾などが挙げられる³³⁾。前二者の場合は，衣服に色彩を施す必要はないが，後二者すなわち儀礼道具，装飾としての衣服には，色彩が重要な要素となると考えられる。

社会的な権威や位置づけを表示するための衣服の色は，地域や民族，文化，性別，年齢などによって特有の慣習があり，それに従うことでその社会に属していることを示す。特に青色に関しては，明度の低い青，すなわち紺色で制服に用いられることが多い。学校の制服のほか，役所，金融機関，交通機関など信頼感が重視される業種・職種の制服に使用される。アメリカでは，大統領や首長等がメディアに登場する際のイメージ演出に色彩を

用いるといわれる。強さをアピールする場合のネクタイの色は赤，隣に立つ補佐的役割の人物のネクタイは青であることが多く，青は脇役であることを示す。一方，カジュアルさを示す時には大統領も青ネクタイとなる。

装飾としての衣服の色は，比較的自由に選択することが可能である。トレーニングウェアやTシャツなどは，抽象的な色の嗜好と近いとされる³⁴⁾。伊藤³⁵⁾は，色彩感情の観点から服装における2色配色の効果を検討し，素材や形状などのデザイン的要素を排除した色票を用いて組み合わせた2色の配色と，上衣と下衣の2色の配色の関係性を明らかにした。その結果，2色配色に対する印象評価のうち価値因子と軽明性因子は，単色に対する好き嫌いに影響され，活動性因子と鋭さ因子は配色の組み合わせによって評価が良くなる可能性があることを明らかにした。色に着目すると，価値因子得点の好きな配色上位10位のうち，青系同士の組み合わせの配色が6組，白と他の色の組み合わせが4組であり，青系が好まれていた。ただし，この評価実験が行われたのは7月であることから季節の影響があると推察される。一方，素材や流行に左右される色もある。カジュアルな衣服であるデニムのインディゴ色は，青色を選択するというより素材感を選択している場合が多くみられる。服装の色の流行の変遷については，日本色彩研究所を始めいくつかのグループが長期間にわたる服装色調査を行っている。例えば渡辺ら³⁶⁾による11年間126回の定点観測調査から，服装色は循環性があり，無彩色の割合が50%を超えるととき，有彩色が50%以上となるときの交互に出現することが示唆されている。地域により差はあるものの，ブラックを中心とした無彩色が優位な約3年間，無彩色と有彩色がほぼ同じ割合の約2年間，青を中心とした有彩色が優位な約3年間が循環傾向にあった(図2.5.5)。

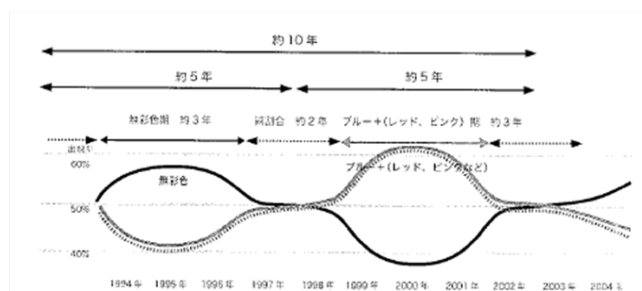


図5-3 原宿・渋谷における服装色の循環傾向

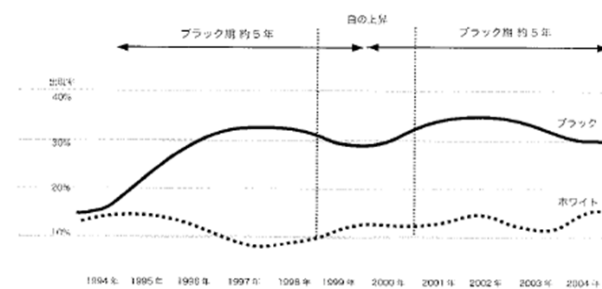


図5-4 銀座における服装色の循環傾向

図 2.5.5 原宿，渋谷，銀座における服装色の循環傾向¹⁹⁾

色の目立ちを利用した子供や高齢者の安全服の設計も行われている。芦澤³⁷⁾は、子供の安全服は昼間の視認性と薄暮時の視認性を両立させる必要があると指摘し、1000~0.01 lxの照度範囲で12色の目立ちについて背景色を6段階に変化させて実験したところ、プルキンエ現象から、1000 lxの明るい環境では8Rを中心とした赤系の目立ちが大きいものの、0.01 lxになると8BG, 7Bを中心とした青系が目立つことことがわかった。この結果から、子供の安全服は夜間に目立つ色を基本色に大きく用い、昼間に目立つ色をアクセントとした2色配色が望ましいとしている。

2.5.3. 建築空間の色彩における青色

建築空間やインテリアに用いられる色の視覚的効果の例としては、色相による距離感の印象変化を利用し、青色を含む寒色の色彩を空間を広く感じさせたい場合の内装仕上げに用いることが度々行われる。心理的効果の例としては、寒色の色彩を施すことにより、気温・室温が高い場合においても心理的な涼感を生じさせるものなどもある。

建築空間における色彩の心理的効果を明らかにしようとする研究は多くある。例えば楨ら³⁸⁾は、オフィスの室内模型にPCCS表色系の3トーン×6色相と無彩色2色の計20色を用い、三色配色までの組み合わせで印象評価を行った。配色する数及び部位を変えて計135条件の心理的評価から、因子分析により析出された美しさ、暖かさ、落ち着きの3因子のうち、色相に関係するのは暖かさ因子と落ち着き因子であり、青は冷たい評価、青のライトトーンは落ち着かない評価であることを見出した(図 2.5.6)。さらに、暖かさ因子の評価は壁面の色彩の影響が大きかったのに対し、落ち着き因子は面積や部位でなく、色自体の影響が大きいことを明らかにした。

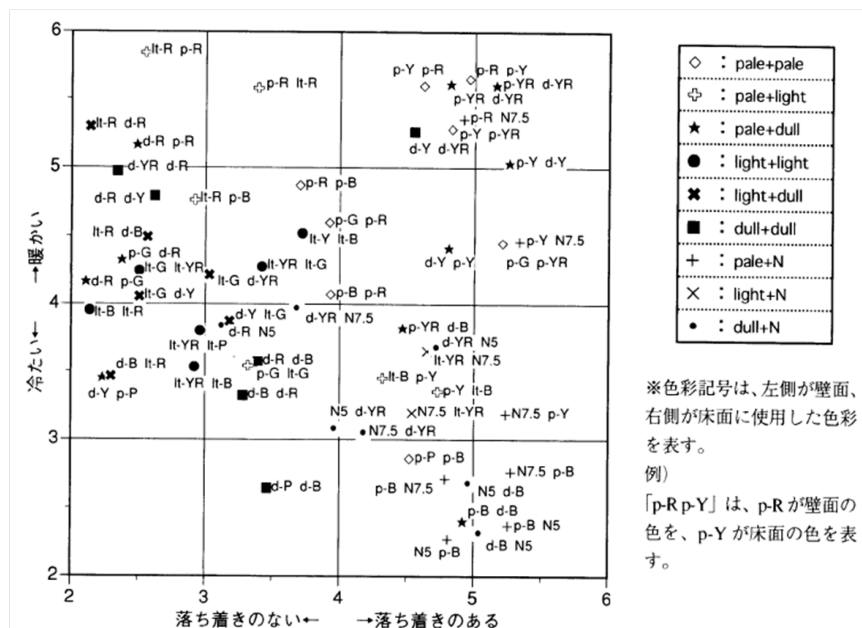


図 2.5.6 2色配色の尺度得点布置図³⁸⁾

色彩の心理的評価を生理的反応と合わせて分析した研究として、大森・加藤ら³⁹⁾⁴⁰⁾は、まず色相、明度、彩度、面積の異なる60条件の光色をスクリーンに投影し、心拍変動、脳波を測定すると同時に、SD法による心理評価を行った³⁹⁾。その結果、面積が大きい場合(1.25×1.5 m, 視角 12° × 14°)は純色赤(5R5/14)と青紫(5PB4/12)、面積が小さい場合(0.21×0.21 m, 視角 2° × 2°)は純色黄赤(5YR7/14)と高明度青(5B8/5)において、副交感神経側が優位の生理反応があり、生体が安定状態で快適に感じていることが示唆された。心理評価は、明るく鮮やかなB系の色の場合にくつろぎ因子、評価性因子の評価が高かった(図 2.5.7)。一方、後に行った物体色を実物大室空間に提示する条件⁴⁰⁾では、黄、ピンク等の暖色の場合はα波含有率が高い、すなわちリラックスしている評価であったのに対し、寒色の場合はα波含有率が抑制される側、すなわちリラックスしていない側の評価となり、上述の2002年の結果と逆の傾向を示した。ただし個人差を詳細にみると、青色の室空間に対するα波含有率は、高値を示す被験者と低値を示す被験者があったことから、一概に青色の室空間をリラックスしないとまとめることは注意が必要であることが述べられている。

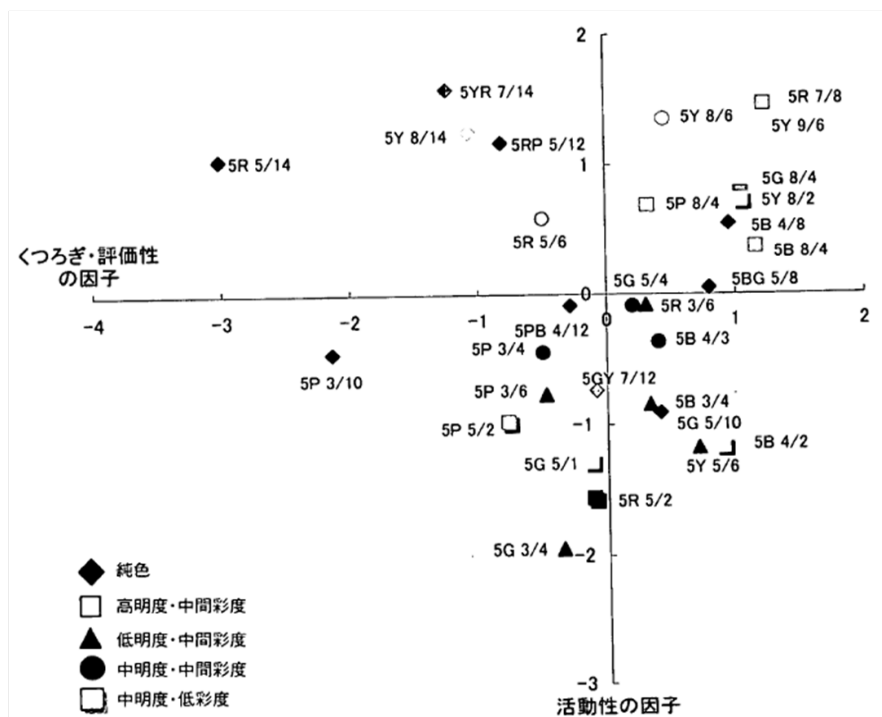


図 2.5.7 因子得点グラフ・大きい面積条件²²⁾

2.5.4. 光色の青色

光色としての青色の使用は、西ヨーロッパの12～14世紀の大聖堂のステンドグラスから始まる²⁸⁾⁴¹⁾⁴²⁾。ガラスを着色することで透過光に色を施している例である。以来、信号やサインとしての色光は、長くこの手法を用いてきた。

近年はLEDを用いて鮮やかな色の発光を得ることが容易にできるようになった。初めて

青色 LED を利用したライトアップは、2002 年 11 月 30 日のさいたま新都心けやきひろばのクリスマスイルミネーションで⁴³⁾、けやきの街並みが 2 種類の青と白の 3 色の発光ダイオードを使った電球 8 万個でライトアップされた。翌 2003 年夏には、東京湾アクアライン海ほたるパーキングエリアに、青色発光ダイオードによるシーサイド・ブルー・イルミネーションが設置された⁴⁴⁾。この電球は、昼間に太陽光から蓄電した電気を用いて発光させたものであった。全国的にみると、青色発光ダイオードの商品化に初成功した日亜化学工業の本社のある徳島県阿南市でイルミネーションイベントが多く実施されている。2003 年 12 月には発光ダイオード 30 万個を使った「アナンミルキーウェイ」が始まり⁴⁵⁾、その後も「阿南光のまちづくり事業」として LED を用いた多くの事業が展開されている。

青色発光ダイオードを用いた青色イルミネーションは、2002 年頃から多くみられるようになっており、2004 年の読売新聞にはクリスマスイルミネーションの色も光源も変化したことが書かれている⁴⁶⁾。これまでは、寒色は雪原や樹氷を表現し、赤やオレンジ色など暖色の背景役であったのに対し、新しい光源すなわち LED の登場によって、この役どころがあっさり入れ替わったと指摘している。

2012 年 5 月 22 日に開業した東京スカイツリーは、すべて LED でライトアップされている。着工した 2008 年当時は LED の光量が少なかったことから HID を使用する計画であったが、省エネルギー効果と LED の開発進捗を見据え、すべて LED を使用する計画に途中で変更された⁴⁷⁾。各 LED は光ファイバーなどでつながった低層の制御室で制御され、江戸文化を表現する「粋」が青色、「雅」が紫色など、テーマによって異なる光色になる。周囲の居住地や動植物に配慮し、LED の特徴を生かして配光や波長範囲を制御して光害を極力抑えている。

2.6. まとめ

2 章では、物体色を中心とした青色の知覚効果と心理効果および青色の意味を説明し、これらの効果を用いた青色の使用例を紹介した。また、近年増えてきた光色の青色の使用例についても簡単に紹介した。文中で触れたように、日常生活において見聞きする青色の効果の中には検証されていない話も混じっている可能性に注意しながら、青色のもたらす様々な効果を理解することで、適切に使用することが可能であろう。

本章で触れていない青色光を空間に用いた青色照明環境における生理的効果、知覚的効果、心理的効果などを、4 章に述べる。

(北村薫子)

参考文献

- (1) Oyama, T. & Yamaura, T. : "The effect of hue and brightness on the depth perception in normal and color-blind subjects", *Psychologia*, 3, pp.191-194 (1960)
- (2) 大山正 : 色彩心理学入門, 中央公論社 (1994)

- (3) 日本色彩研究所：新編カラーレンジマニュアル 100，日本色彩研究所（2008）
- (4) 日本色彩研究所：色の百科事典，丸善（2005）
- (5) 千々岩英彰編著：図解世界の色彩感情事典，河出書房新社（1999）
- (6) 福田邦夫：色の名前はどこからきたかーその意味と文化，青娥書房（1999）
- (7) Eysenck, H.J. : A Critical and Experimental Study of Colour Preferences, The American Journal of Psychology, 54-3, pp.385-394(1941)
- (8) 日本色彩研究所：消費者の色彩調査報告書，日本色彩研究所（1994）
- (9) Berlin, B. & Kay, B. P.: Basic Color Terms: Their Universality and Evolution, Univ. of California Press（1969）
- (10) Kay, B. P. & McDaniel, C. K.: The Linguistic Significance of the Meanings of Basic Color Terms, Language, 54-3, pp.610-646（1978）
- (11) 近江源太郎：色彩心理入門，日本色研事業（2003）
- (12) ミシェル・パストゥロー：ヨーロッパの色彩，パピルス（1995）
- (13) 柏木博：色彩のヒント，平凡社（2000）
- (14) アンヌ・ヴァリシヨン（河村真紀子・木村高子訳）：色ー世界の染料・顔料・画材，民族と色の文化史，マール社（2009）
- (15) ミシェル・パストゥロー：CROMA（クロマ）色の世界ー350 のフォトグラフィー，青幻舎（2010）
- (16) 本明寛監修：カラーウォッチングー色彩のすべて，小学館（1982）
- (17) 八木酉訳：シンボルの原典，グラフィック社（1981）
- (18) 日本規格協会：安全色及び安全標識，JIS-Z-9101-2005，日本規格協会(2005)
- (19) 中野豊：JIS 安全色及び安全標識（JIS Z 9101,Z9103,Z9104）の改正と現状，日本色彩学会誌，32-2, pp.106-111(2008)
- (20) 馬場護郎：安全色国際規格の現状と問題点，日本色彩学会誌，32-2, pp.102-105(2008)
- (21) 神作博：信号と交通標識の色について，照明学会雑誌，55-3, pp.167-174(1971)
- (22) 神農，大野ら：安全色彩と周辺環境に使われる色の評価について その 1.色温度を変えた場合，日本色彩学会誌，Vol.28 supplement, pp.68-69(2004)
- (23) 中嶋芳雄：カラーネーミング法による道路交通用青色信号灯の色評価，日本色彩学会誌，10-3, pp.150-157(1987)
- (24) 朝日新聞：見にくさ増す信号の「青色」，東京版夕刊(1989年11月29日)
- (25) 河本健一郎ら：海上における安全色の視認性，日本色彩学会誌，Vol.35 supplement, pp.138-139(2011)
- (26) 落合太郎：色覚異常者にやさしい LED 道路交通信号灯，照学誌，94-3, pp.192-197(2010)
- (27) 佐藤仁人：生活空間に関連するプロダクトの色彩イメージに関する研究，日本建築学会環境系論文集，No.597, pp19-26(2005)

- (28) 朝日新聞社：色の博物誌－世界の色彩感覚－，朝日新聞社，(昭和 61)
- (29) 大谷貴美子ら：缶飲料のデザイン色が各種感覚特性に与える影響－日韓の女子大生を対象として－，日本色彩学会誌，24-4，pp.223-231(2000)
- (30) 奥田弘枝ら：食品の色彩と味覚の関係－日本の 20 歳代の場合－，日本調理科学会誌，35-1，pp.2-9(2002)
- (31) 木下武志ら：色が味覚イメージに及ぼす影響，芸術工学会誌，No.54，pp.107-112(2010)
- (32) 豊満美峰子，松本伸子：食物・食器・食卓の配色が嗜好に及ぼす影響，日本調理科学会誌，38-2，pp.181-185(2005)
- (33) 今井弥生：人と衣服－その色彩の社会への貢献－，日本色彩学会誌，No.22 supplement，p.112(1998)
- (34) 近江源太郎：嗜好色から見た商品間の関係，色研カラー情報，日本色彩研究所，Vol.30，1979
- (35) 伊藤久美子：服装における色彩調和に関する研究－：色彩感情からみた配色－，日本色彩学会誌，25-3，pp.183-192(2001)
- (36) 渡辺明日香ら：ストリートファッションにおける女性服装色の変遷に関する研究(1)：同調色と相反色および循環性に関する考察，日本色彩学会誌，31-1，pp.14-25(2007)
- (37) 芦澤昌子：服飾における安全と色彩－色の目立ちによる子供の安全服の設計－，日本色彩学会誌，32-3，pp.211-215(2008)
- (38) 槇究ら：少数の色で構成された室内の印象評価，日本色彩学会誌，25-4，pp.262-273(2001)
- (39) 大森ら：色彩刺激に対する心理評価と生理反応評価，日本色彩学会誌，26-2，pp.50-63(2002)
- (40) 加藤ら：室内空間に対する心理的及び生理的反応，日本色彩学会誌，28-1，pp.16-25(2004)
- (41) フランソワ・ドラマール，ベルマール・ギノー：色彩－色材の文化史－，創元社(2007)
- (42) ミッシェル・パストゥロー：BLEU histoire d' une couleur 青の歴史，筑摩書房(2005)
- (43) 毎日新聞：ケヤキ彩る「魅惑の青」電飾に全国初の試み，毎日新聞埼玉地方版(2002年 12 月 2 日)
- (44) 読売新聞：海ほたるで青くイルミネーション，読売新聞東京版朝刊(2003 年 7 月 18 日)
- (45) 毎日新聞：発光ダイオード 30 万個で光の演出，毎日新聞徳島地方版(2003 年 12 月 14 日)
- (46) 読売新聞：イルミネーション「色」変えた新しい光源，読売新聞東京版夕刊「現代・空間論」(2004 年 12 月 18 日)
- (47) 読売新聞：スカイツリー 粋で雅な輝き あす開業，読売新聞朝刊(2012 年 5 月 21 日)

3. 青色発光体（短波長成分を多く含む光）

3.1. 生理指標に与える影響

人の緊張や覚醒の程度を客観的に評価する手法として、自律神経系や中枢神経系の活動の変化を、心拍や脳波といった生理反応を介して計測し、解析する方法が様々に提案されている。ここでは青色光が自律神経系や中枢神経系に与える影響に関する研究について報告する。

3.1.1. 自律神経系に与える影響

3.1.1.1. 自律神経系の生理反応

生体の恒常性を維持する機能を大きく担っているのが自律神経である。自律神経系には交感神経系と副交感神経系があり、これらが拮抗して機能することで、人体の器官を調節している。表 3.1.1 に自律神経系の活動評価によく用いられる人体の器官と、その調節作用をまとめる¹⁾。

表 3.1.1 自律神経系のはたらき

器官	交感神経	副交感神経
心臓	拍動数増加	拍動数減少
抹消血管	収縮	拡張
瞳孔	散大	縮小
汗腺	分泌	—

これらの中で特に注目されているのが、心拍変動性（Heart Rate Variability: HRV）である。これは心拍数の時系列的なゆがみを評価するもので、一定時間の平均心拍数、標準偏差、変動係数などが指標とされた。最近では、心電図から得られる R 波の間隔を時間軸に対してプロットし、これを周波数解析する手法が提案されている。解析後のパワースペクトルを高周波成分（HF）、低周波成分（LF）と分類し、それぞれの成分の積分値を指標とする手法である。LF 成分は心臓交感神経活動と副交感神経活動の双方に関係し、HF 成分は主に心臓副交感神経活動に関係しているとされている。

3.1.1.2. 色光が自律神経活動に与える影響

単色光および高色温度光が自律神経活動に与える影響について、既往研究の結果を紹介する。表 3.1.2 はそれぞれの研究における実験条件をまとめたものである。

表 3.1.2 既往研究における実験条件

	李ら ²⁾	井上ら ^{3),4)}	Mukae et al. ⁵⁾
光源	ハロゲンランプ 500W	蛍光ランプ	蛍光ランプ
光色	458, 550, 670 nm 単色光 半値幅 10~14nm (干渉フィルタを使用)	白 (波長型), 青, 緑, 赤 (波長型の各蛍光体) 黄 (カソード蛍光ランプ)	相関色温度 3000, 5000, 6700K
強度	眼前にて $3 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	1.0, 1200 lx	100, 300, 900 lx
暴露時間	20分	60分	25分
評価項目	心拍変動性, 血圧, 瞳孔径, 口腔温	心拍変動性, 血圧, 瞬目回数, 皮膚温	心拍変動性
被験者	11名 男性 (18歳~27歳)	8名 女性 (21歳~26歳)	8名 男性 (21歳~23歳)

李らの実験において、単色光が心拍変動性に与える影響を LF/HF, HF/(LF+HF)値から検討したところ、波長の違いによる有意な差は検出できなかったと報告されている。また血圧の測定結果においても、波長の違いによる有意な差は検出されなかった。

井上らの実験において、光曝露前後における心拍変動性 (LF/HF) の変化を図 3.1.1 に示す。有意差は検出されなかったが、黄光でやや低く、赤光と青光が 1.0 lx で比較的高い値を示した。LF/HF の値が高いほど心臓交感神経系の活動が優位であり、緊張あるいは覚醒状態にあると考えられる。図 3.1.2 は光曝露前後の拡張期血圧の変化量を示したものである。こちらにおいても光色の違いによる有意な差は見られなかったが、1.0 lx の赤光でやや高く、青・緑光でやや低い傾向が見られており、青・緑光で比較的鎮静に作用する傾向が見られた。

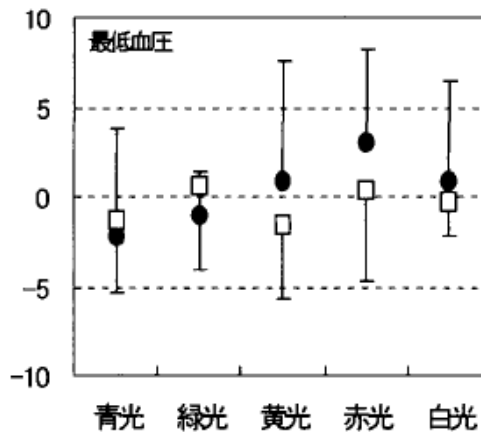
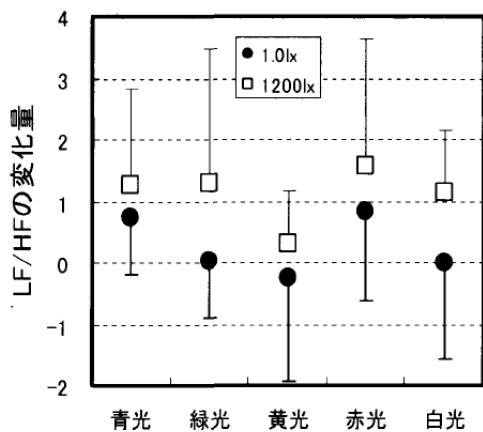


図 3.1.1 LF/HF の初期値からの変化量。 図 3.1.2 拡張期血圧の初期値からの変化量。
(図は久保ら⁴⁾, 照学誌 92-9 より引用)

Mukae らの実験において、相関色温度の違いが心拍変動性に与える影響を、LF 積分値および HF 積分値の違いから検討した結果を図 3.1.3 に示す。LF, HF とも照度条件によっては異ならず、色温度条件によって異なることが示された。LF, HF ともに高色温度条件で高くなっており、自律神経の興奮が亢進することが示された。

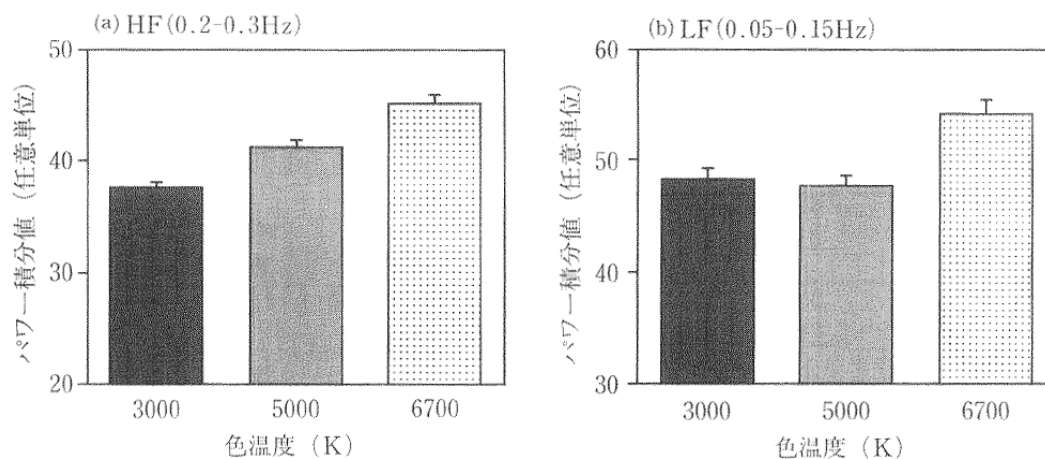


図 3.1.3 心拍変動性に及ぼす色温度の効果. (図は勝浦⁶⁾, 照学誌 84-6 より引用)

次に李らの実験において, 単色光曝露前後における瞳孔径の変化を計測した結果を図 3.1.4 示す. 図より 670 nm の光曝露より 458 nm, 550 nm の光曝露のほうが有意に瞳孔収縮する傾向がみられた. 一方井上らの実験において, 瞬目回数に色光の違いによる影響は見られなかった.

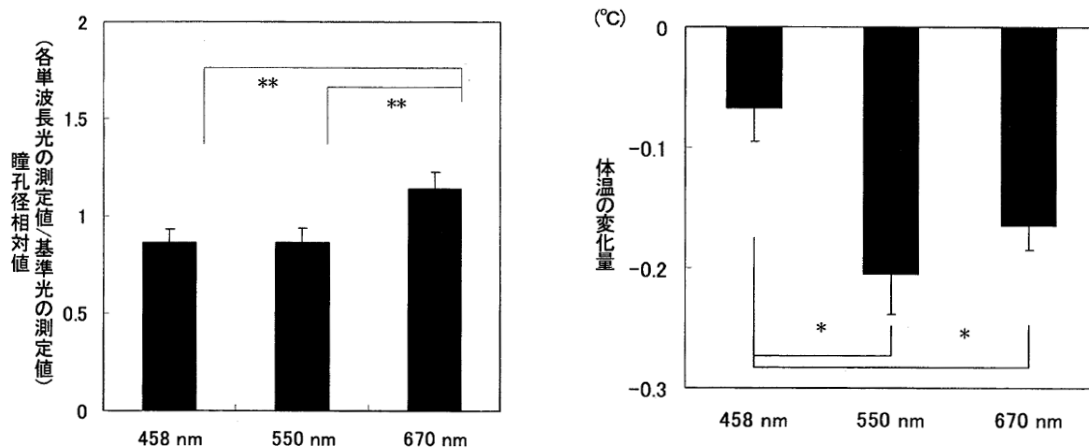


図 3.1.4 光曝露 19 分後の瞳孔径相対値. 図 3.2.5 体温の変化量.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ (図は李²⁾, 日本生理人類学会誌 13-2 より引用)

次に体温の変化について, 李らの結果を図 3.1.5 に示す. 単色光曝露 10 分後の体温の変化量をみると, 458 nm の光曝露において他の条件よりも体温の変化量が有意に小さい傾向がみられた. 一方井上らの実験においては色光の違いによる有意な差は見られなかった.

李らの研究, 井上らの研究における結果から, 単色の青色光が自律神経活動になんらかの影響を与えていることは示唆されるが, 統一的に活性方向に作用するという見解は得られなかった. 一方 Mukae らの結果より, 3 波長型の蛍光灯を使用した場合, 高色温度光で自律神経活動が活性されることが示された.

3.1.2. 中枢神経系に与える影響

3.1.2.1. 中枢神経系の生理反応

中枢神経系は脳と脊髄で構成される。人間の中枢神経系の活動を計測する方法としては、脳電位（EEG）を計測し脳波を分析する手法や、機能的核磁気共鳴画像（fMRI）、近赤外光脳内血流計測（NIRS）など脳内の血流量の変化から脳の活動状態を計測する手法がある。ここでは、比較的計測が容易な脳電位計測による分析手法を紹介し、色光が中枢神経系に与える影響の研究事例を紹介する。

脳電位の計測は国際式 10-20 電極法に基づく位置で行われる。基準電位を耳朶とし、時系列に対する脳電位の変化を計測する。これを周波数解析し、周波数帯域の違いにより脳波を分類する。 α 波（8~13 Hz）は安静閉眼状態で出現頻度が高く、開眼すると減衰する。 β 波（13~30 Hz）は緊張興奮すると観測されるようになる。このような特徴を利用することで、覚醒水準の指標として用いられる。

3.1.2.2. 色光が中枢神経活動に与える影響

前項の李ら、および井上らの実験においては、脳波も合わせて計測しており、その結果を以下に示す。

李らの実験においては、単色光曝露前後における α 波帯域率（ α 波パワー / (α 波パワー + β 波パワー)）、および α 波減衰係数（AAC：閉眼時 α 波パワー / 開眼時 α 波パワー）の変化量を調べたところ、図 3.1.6 および図 3.1.7 のような結果を得た。図 3.1.6 より α 波帯域率は 458 nm の光曝露前後において、他の単色光に曝露されるよりも有意に減少しており、覚醒水準が高いことが示された。同様に図 3.1.7 では、458 nm の光曝露前後における α 波減衰係数が、他の条件に比べて有意に高いことから、覚醒水準が高いと判定される。また図 3.1.8 は部位 Pz における α 波帯域率変化量と主観的な眠気評価の関係を示したものである。両者の間にはゆるやかな相関が見られていることから、 α 波帯域率が減少するほど眠くないことが示された。

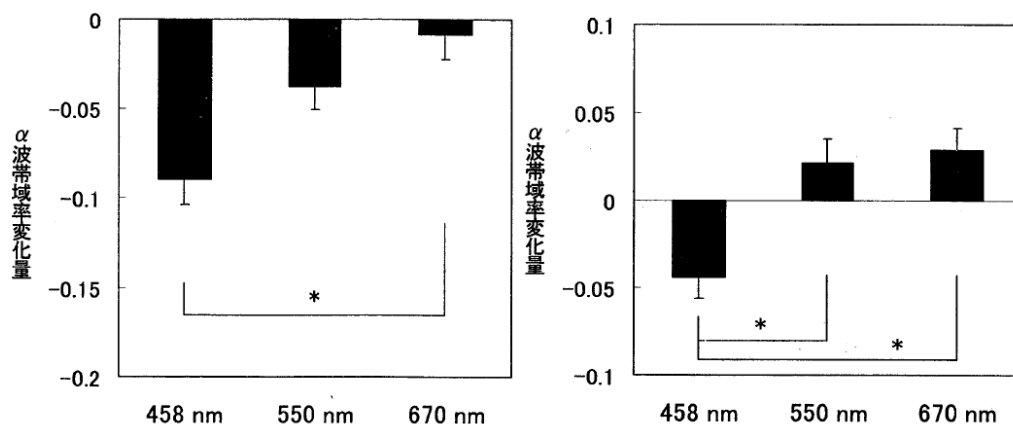


図 3.1.6 部位 Fz (左) および部位 Pz (右) における α 波帯域率変化量。

* $p < 0.05$, (図は李²⁾, 日本生理人類学会誌 13-2 より引用)

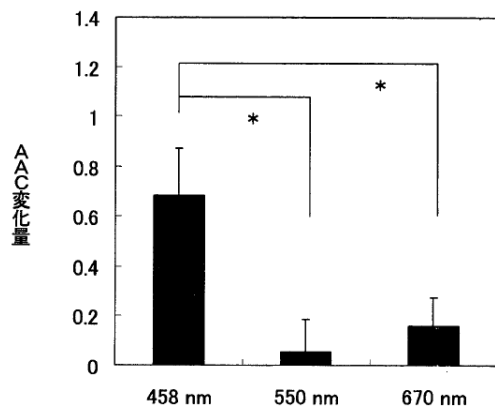


図 3.1.7 部位 Fz における AAC 変化量.

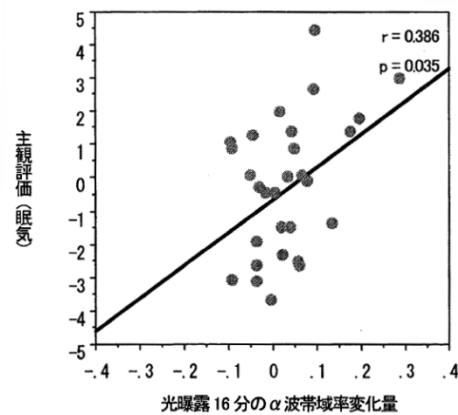


図 3.1.8 部位 Pz における α 波帯域率と主観評価 (眠気) の相関関係.

* $p < 0.05$, (図は李²⁾, 日本生理人類学会誌 13-2 より引用)

一方井上らの実験においては, 閉眼時間中の α 波出現時間率を比較したところ, 1.0 lx 条件において青光のほうが低下する事例が多く, 白光で上昇事例が多いと観測されたが, 両者に明確な差は認められないと述べている.

以上のことから, 放射強度を同一にした条件下においては, 単色の青色光は有意に α 波パワーを減少させ, 覚醒水準を高めることが示された.

(山口秀樹)

参考文献

- (1) 堀忠雄: 生理心理学—人間の行動を生理指標で測る, 培風館 (2008).
- (2) 李花子, 勝浦哲夫, 岩永光一, 下村義弘, 東洋邦, 一條隆: 単波長の光曝露に対する生理反応, 日本生理人類学会誌, 13-2, pp.75-83 (2008).
- (3) 井上容子, 久保博子, 新美聡子: 色光の視覚心理生理的影響に関する検討-若齢者の生理量および印象・疲労感について-, 照学全大 41 回, pp.189-190 (2008)
- (4) 久保博子, 井上容子: 有彩色光照明の生理的・心理的影響, 照学誌, 92-9, pp.645-649 (2008)
- (5) Mukae, H. and Sato, M.: The effect of color temperature of lighting source on the autonomic nervous functions., Ann. Physiol. Anthrop, 11-5, pp.533-538,(1992)
- (6) 勝浦哲夫: 光の質で人間の生理反応は影響されるのか, 照学誌, 84-6, pp.350-353 (2000)

3.1.3. 内分泌系に与える影響

光の影響を受けるホルモンとして、松果体から分泌されるメラトニンが知られている。メラトニン分泌への光の影響は、網膜で受容された光情報が外側膝状体 (LGN) を経由し、大脳視覚野に達する視覚経路とは別の経路によって引き起こされており、その経路を非視覚経路と呼ぶ。網膜で受容された光情報は網膜視床下部路 (RHT) および LGN を経由する膝状体視床下部路 (GHT) を通って、視交叉上核 (SCN) に達し、その後、室傍核 (PVN)、内側前脳束 (MFB)、網様体 (RF)、脊髄中間質外側部細胞柱 (IML)、上頸部交感神経節 (SCG) を経て、松果体に達する¹⁾。SCN は生物時計の中核としての役割を担っていて、睡眠覚醒や体温、ホルモン分泌などの各種生理現象に概日リズムを与えている。概日リズムの同調因子には、明暗サイクルや社会生活、食事などがあり、その中でも明暗サイクルは他の同調因子と比べて強力である。これらのことから、光と生物時計の影響下にある生理現象（例えば、メラトニン分泌）の関係が明らかになれば、光がその他の各種生理現象に及ぼす作用についても明らかにすることができるかもしれない。

3.1.3.1. メラトニン分泌の抑制作用に関する光受容器がある部位

光を感じることができない盲目のヒトの中に、目に光曝露をすることでメラトニン分泌が抑制されるヒトがいることが報告されている²⁾。このことから、光曝露によるメラトニン分泌の抑制作用は、光を感じることができない盲目の人であっても引き起こされることが示された。

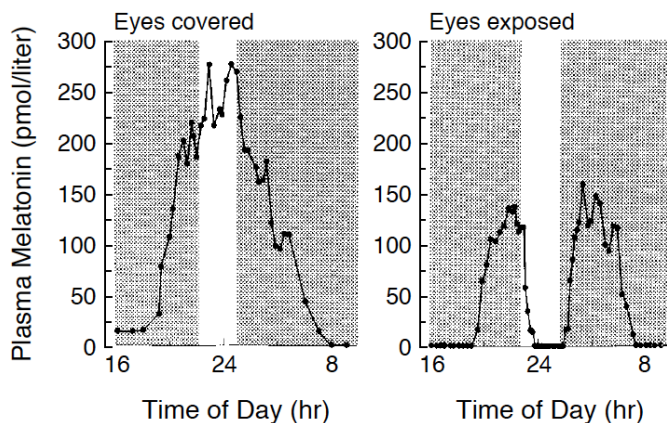


図 3.1.9 光覚のない盲目のヒト (18 歳) を対象にした目隠しの有無によるメラトニン分泌抑制実験の結果。光曝露には白色蛍光ランプを使い、6,000~13,700 lx の照度で 3 時間行った。目隠しをすると、光曝露をしている間、血漿メラトニン濃度は抑制されなかった (左図)。目隠しをしていないと、光曝露をしている間、血漿メラトニン濃度は抑制された (右図)。

視機能の状態（視力 0.05 以下，指数弁，手動弁，光覚弁，眼球の有無とその数）が尿中メラトニン代謝産物（aMT6s）の分泌リズムに与える影響が報告されている³⁾。

49 名の盲目の被験者が実験に参加した。49 名のうちの 19 名は光を知覚することができる（光覚）以上の視機能があり，30 名は光を知覚することができない者だった。被験者は少なくとも連続する 3 週間の間，実験に参加し，毎週 48 時間，尿中 aMT6s の濃度を分析するため，約 4 時間（就寝中は 8 時間）ごとに尿が集められた。各被験者のリズムの周期性を決定するため，得られた頂点位相を回帰直線でフィットした。95%信頼限界の線が 0（すなわち，24 時間）を含まない時，フリーランと考えた。回帰分析の結果，24 時間と有意差がない時，同調していると考えた。平均した頂点位相の時刻が視機能が正常なヒトの標準的な範囲の外側にあった時，異常な同調とし，標準的な範囲の内側にあった時，正常な同調と分類した。

光覚のある被験者の多く（57~100%）が正常な同調をしていて，少数の被験者（20~33%）が異常な同調をしていた。1 名の被験者は有意なリズムが見られず，分類不能とした。光覚のない被験者の多く（77%）が正常な同調ではなかった。リズム異常の発病率は片側又は両側の眼を摘出された被験者でより高かった。以上より，概日リズム障害は光覚がなく，そして，眼球が摘出されることでより発病しやすくなることが示された。

表 3.1.3 視機能欠損の重症度ごとの概日リズムの分類結果。括弧内の斜体の数字は，重症度ごとの各々の概日リズムタイプの割合を示し，括弧内の太字の数字は，光覚ありと光覚なしのそれぞれでまとめた時の割合を示す。

視機能欠損の重症度	概日リズムのタイプ				総計
	正常な同調	異常な同調	フリーラン	分類不能	
光覚のある被験者					
視力 0.05 以上	4 (57)	2 (29)	0	1 (14)	7
指数弁	4 (80)	1 (20)	0	0	5
手動弁	4 (100)	0	0	0	4
光覚弁	2 (67)	1 (33)	0	0	3
小計	14 (74)	4 (21)	0	1 (5)	19
光覚のない被験者					
眼球数：2	4 (33)	5 (42)	2 (17)	1 (8)	12
眼球数：1	2 (29)	0	5 (71)	0	7
眼球数：0	1 (9)	0	10 (91)	0	11
小計	7 (23)	5 (17)	17 (57)	1 (3)	30
総計	21	9	17	2	49

また、ヒトの膝の裏を光曝露することで、深部温とメラトニン分泌の位相がシフトしたという驚くべき報告があった⁴⁾。しかし、多くの追試研究⁵⁾が行われた結果、同じ結果は再現されなかった。このことから今日では、眼が唯一の光受容器だと考えられる。

3.1.3.2.メラトニン分泌抑制作用の波長特性

Brainard ら⁶⁾と Thapan ら⁷⁾は、複数の単色光と光強度の条件によるメラトニン分泌抑制実験から、複数の単色光の用量反応曲線を求め、メラトニン分泌抑制作用の作用スペクトルを報告している。これらの報告より、メラトニン分泌抑制作用は 460 nm 付近にピーク感度を持つ波長特性を持つことが考えられる。

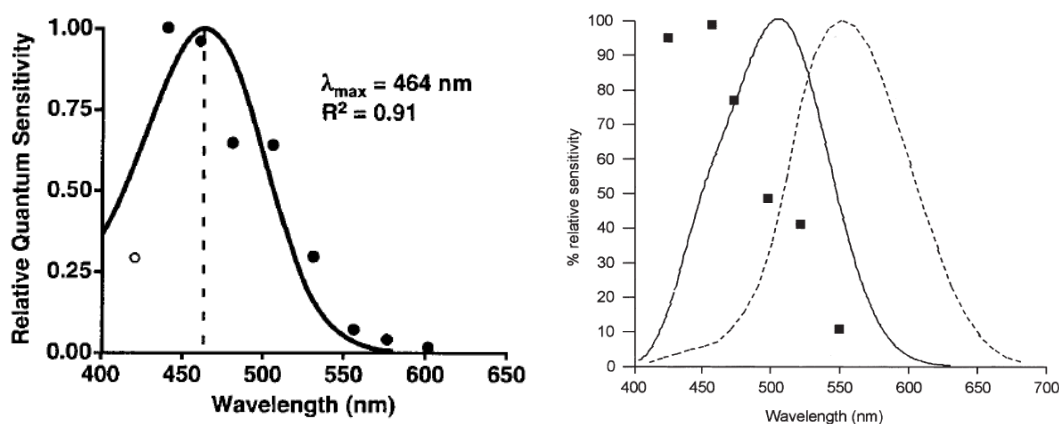


図 3.1.10 メラトニン分泌抑制作用の作用スペクトル。左図⁶⁾は、Brainard らの実験結果で、黒丸は、440, 460, 480, 505, 530, 555, 575, 600 nm の単色光による実験結果。白丸は、2 種類の光強度条件から求めた 420 nm の単色光による実験結果。実線は、実験結果のプロットに最も良くフィットする 464 nm に最大の分光吸収を持つビタミン A₁ レチナールデヒド視物質のテンプレート。右図⁷⁾は Thapan らの実験結果で、プロットは、424, 456, 456, 472, 496, 520, 548 nm の単色光による実験結果。実線は、暗所視の比視感度曲線 (λ_{max} 505 nm)。破線は、明所視の比視感度曲線 (λ_{max} 555 nm)。

この波長特性は、網膜上にある杆体および 3 種類ある錐体のいずれとも異なることから、複数の光受容器が関与していることが考えられる。また、この波長特性は、後述する視物質メラノプシンを含む網膜神経節細胞とも異なっている。

3.1.3.3.杆体、錐体以外の光受容器

近年、杆体、錐体以外に光受容器があることが発見された⁸⁾。その光受容器は網膜の中で最初に光が達する神経節細胞層にあり、視物質メラノプシンを含んでいるごく少数の網膜神経節細胞 (intrinsically photosensitive retinal ganglion cell : ipRGC または、

melanopsin expressing retinal ganglion cell : mRGC) が光受容器として機能していた。視物質メラノプシンは、光に対して脱分極性反応をし、その反応から 480 nm 付近にピーク感度をもつことが報告されている。この光受容器は、SCN と LGN の一部の層、視蓋前域オリーブ核 (OPN) を刺激することから、生物時計や瞳孔反射に関与することが考えられる⁹⁾。

メラノプシンおよび杆体・錐体を欠損させたトリプルノックアウトマウスの研究¹⁰⁾より、トリプルノックアウトマウスは光による行動学的、生理学的反応を失っていた。また、メラノプシンのみ、杆体・錐体のみの欠損では光によるこれら反応は完全には失われなかった。以上より、光による行動学的、生理学的反応には、メラノプシンおよび、杆体・錐体が関係していて、これら以外の光受容器はないことが示された。

杆体、錐体以外の光受容器および、非視覚的作用については、日本生理人類学会誌 Vol.16 No.1 2011 に特集が組まれているので、興味のある方は参照していただきたい。

(高橋良香)

参考文献

- (1) D. C. Klein, R. Smoot, J. L. Weller, S. Higa, S. P. Markey, G. J. Creed and D. M. Jacobowitz: Lesions of the paraventricular nucleus area of the hypothalamus disrupt the suprachiasmatic leads to spinal cord circuit in the melatonin rhythm generating system, *Brain Res. Bull.*, 10-5, pp.647-652 (1983).
- (2) C. A. Czeisler, T. L. Shanahan, E. B. Klerman, H. Martens, D. J. Brotman, J. S. Emens, T. Klein and J. F. Rizzo 3rd : Suppression of melatonin secretion in some blind patients by exposure to bright light, *N. Engl. J. Med.*, 332-1, pp.6-11 (1995).
- (3) S. W. Lockley, D. J. Skene, J. Arendt, H. Tabandeh, A. C. Bird and R. DeFrance : Relationship between melatonin rhythms and visual loss in the blind, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 82-11, pp.3763-3770 (1997).
- (4) S. S. Campbell and P. J. Murphy : Extraocular circadian phototransduction in humans, *Science*, 279-5349, pp.396-399 (1998).
- (5) S. W. Lockley, D. J. Skene, K. Thapan, J. English, D. Ribeiro, I. Haimov, S. Hampton, B. Middleton, M. von Schantz and J. Arendt : Extraocular light exposure does not suppress plasma melatonin in humans, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 83-9, pp.3369-3372 (1998).
- (6) G. C. Brainard, J. P. Hanifin, J. M. Greeson, B. Byrne, G. Glickman, E. Gerner, and M. D. Rollag: Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor, *J. Neurosci*, 21-16, pp.6405-6412 (2001).
- (7) K. Thapan, J. Arendt and D. J. Skene: An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in

- humans, *J. Physiol.*, 535-1, pp.261-267 (2001).
- (8) D. M. Berson, F. A. Dunn, M. Takao: Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock, *Science*, 295-5557, pp.1070-1073 (2002).
- (9) S. Hattar, H. W. Liao, M. Takao, D. M. Berson and K. W. Yau: Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity, *Science*, 295-5557, pp.1065-1070 (2002).
- (10) S. Panda, I. Provencio, D. C. Tu, S. S. Pires, M. D. Rollag, A. M. Castrucci, M. T. Pletcher, T. K. Sato, T. Wiltshire, M. Andahazy, S. A. Kay, R. N. Van Gelder and J. B. Hogenesch : Melanopsin is required for non-image-forming photic responses in blind mice, *Science*, 301-5632, pp.525-527 (2003).

3.2. 眼の青色光網膜傷害

3.2.1. はじめに

強い太陽光を浴びると、皮膚が火傷するように、網膜も強い光エネルギーを受けると傷害を受ける。

網膜傷害は光の露光量や波長特性によって異なり、波長特性は1976年 Ham らによって報告された。この報告¹⁾は、441.6 nm～1,064 nm の波長の異なる8種類のレーザを用いて、それぞれの曝露時間を、1, 16, 100, 1000 秒に設定して傷害閾値の光の放射露光量を調査したものである(図3.2.1)。図3.2.1に示すように500～600 nm を境に波長が短いほど、傷害閾値が大きく低下し、網膜傷害が起こりやすい。光傷害は網膜に光が入ると傷害が発生するわけではなく、露光量と曝露時間によって傷害閾値が決定する。

波長の短い光は光エネルギーが大きいため、紫外線の方が強い傷害を与えそうだが、網膜へ到達する光を考慮すると、青色光のほうが網膜傷害を引き起こしやすい²⁾。

青色光の生体への安全性について平成23年度に制定された JISC7550³⁾では青色光による網膜傷害というリスク評価試験項目の覧に、青色光による網膜傷害の実効放射輝度または露光許容時間が示されている。

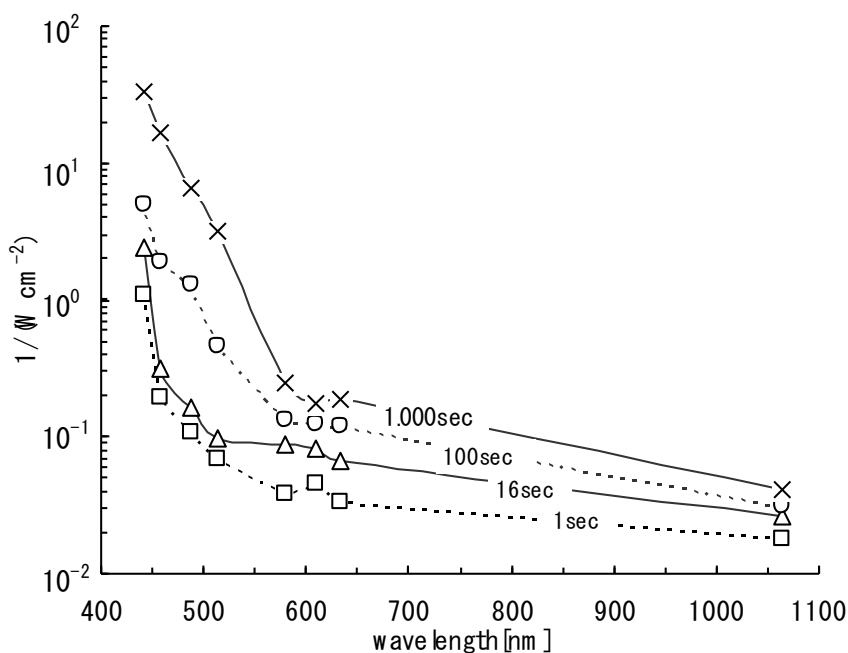


図 3.2.1 網膜（サル）の光傷害閾値の波長特性¹⁾

横軸：波長 [nm], 縦軸：網膜への放射照度の逆数 ($1/W \text{ cm}^{-2}$)

曝露時間 [sec] : □ ; 1, □ ; 16, ○ ; 100, × ; 1000

3.2.2. 青色光の生体への安全性に関わる研究結果

・青色光の網膜光傷害閾値

小出らは青色（中心波長 460 nm）発光ダイオードを用いて、網膜傷害の程度に関する実験⁴⁾を行った。アカゲザルをアトロピン点眼にて十分散瞳させ、網膜への青色 LED (0.85 mW) を照射した。青色 LED 光照射はスリットランプ顕微鏡にて、サル黄斑部に直径 3 mm の円形像照射となるようにした。実験条件から角膜、レンズ、および硝子体に混濁がないことから、減衰がほとんどないとすると照射エネルギーは最大 12 mW/cm² と推測される。光照射は片眼のみで、照射時間は 12, 23, 34, 40, 45, 90 分間とし、反対眼は対照とした。23 分間以下では、網膜に変化は見られず、40 分間以下は、時間経過（30 日間）とともに回復した。しかし、45 分間以上から時間経過による回復が見られなかったため、40 分間照射の 28.8 J/cm² を障害閾値と推定した。ヒトもサルの場合と同様とすれば、28.8 J/cm² が閾値と考えられる。

・青色光の光化学作用

森らは手術用顕微鏡の照明光に含まれる短波長域と長波長域の成分が網膜に傷害を及ぼす可能性について検討した。散瞳させたウサギにフィルタを用いて波長制御した手術用顕微鏡の 460 nm にピークをもつ青色光と 670 nm 以下をカットした長波長光を 60 分間連続照射した。角膜上の照射エネルギーは短波長光で 4, 6, 8, 16 mW/cm² とし、長波長光では 30, 50, 80 mW/cm² とした。ともに網膜傷害が見られたが、網膜病変の発現の仕方が異なっていた。有色家兎は、長波長光の曝露では直後より傷害の反応が見られたが、短波長光では、曝露 2 日後に網膜傷害が観察された。メラニン色素の少ない白色家兎は、短波長光での傷害が起こりにくかったことから、長波長光による網膜傷害は、主に熱作用によるものを示唆した。実験で使用した短波長光では、熱作用を起こすには光量が足りないことから、短波長光の光化学作用による影響が強いことが推定される⁵⁾。この実験に使用されたフィルタ（オリンパス 610R）は、SCHOTT 社製 RG610 が使用されており、対応するフィルタは 570 nm 以下をカットする特性であることが考えられる。

・青色光による網膜傷害と眼底の温度

森らは、網膜局所の温度低下と網膜光傷害の関係から、傷害を防止する温度を検討した。傷害閾値レベルの青色光を照射することで、光照射による熱作用の関与を最小限に抑え、健全な網膜に対する光照射による網膜傷害の純粋な評価を行う方法を用いた。散瞳させたウサギにフィルタを用いて波長制御した手術用顕微鏡の青色光を眼底後極部に 60 分間照射した。照射エネルギーは、8 mW/cm² とした。照射直後、2 日後、7 日後に傷害の有無を判定した。ドライアイスを用いて、網膜外部から光照射部位を冷却し、眼底後極部の温度を平均 30°C（冷却前は平均 37.6°C）にすると、網膜傷害が減弱した。この冷却による防御効果は 33°C では得られなかった。このことから、傷害閾値レベルでの網膜光傷害を防御

し得る眼底局所の温度の限界は約 30~33°Cであることが考えられる⁶⁾。

3.2.3. 青色光の生体への安全性への取り組み

青色光による網膜光傷害を防ぐには、網膜に光が届かないようにすることと活性酸素消去物質を増加させることが重要である⁷⁾。有水晶体眼の場合と比べ、無水晶体眼の加齢黄斑変性症に対する危険度は2倍に増加するとされているため、白内障手術時には、紫外線だけではなく、青色光も吸収する眼内レンズが有効である。活性酸素抑止薬が加齢黄斑変性症の進行を抑えるため、亜鉛、ビタミンCとEなどを摂取することが望ましい。

また照明光源から傷害のリスクを最小限にする方法は、以下の4点がある⁸⁾。

- ・光源の強さは手作業に必要な最小のレベルにする。
- ・照射は最少の許容できる時間にする。
- ・光源に短波長吸収フィルタを用いる。
- ・色付きコンタクトレンズや人工瞳孔のような安全装置を用いる。

JISC7550³⁾にはレーザを除くLEDを含むランプ、照明器具などのランプシステムにおける光生物学的安全性の試験方法が記載されたおり、青色光網膜傷害のリスク評価方法は以下の通りである。

3.2.3.1. 青色光による網膜傷害の露光限界

青色光による網膜傷害の実効放射輝度 L_B は式(1)、最大許容露光継続時間 t_{max} は式(2)により算出する。実効放射輝度は、青色光網膜傷害の作用スペクトル $B(\lambda)$ で重み付けした放射輝度を意味し、作用スペクトルは、図 3.2.2 に示す。

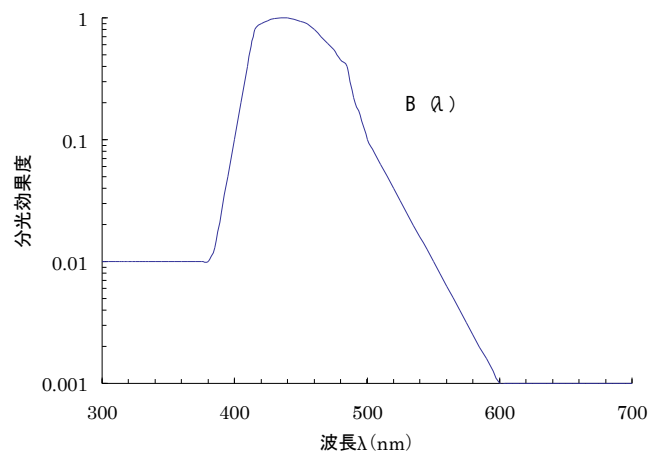


図 3.2.2 青色光網膜傷害 作用スペクトル³⁾

$$L_B = \sum_{300}^{700} L(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta \lambda \dots \dots \dots (1)$$

$$t_{\max} = 10^6 / L_B \text{ (ただし, 露光時間 } t \leq 10000 \text{ sec のとき)} \dots \dots \dots (2)$$

ここに, $L(\lambda)$: 光源の分光放射輝度 ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$)

t_{\max} : 最大許容露光継続時間 (sec)

$B(\lambda)$: 青色光傷害作用関数

$\Delta \lambda$: 波長幅 (nm)

L_B : その光学条件における実効放射輝度 ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$) であり, 露光限界は $10^6 J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ である.

$t > 10000 \text{ sec}$ のとき, 露光限界は露光時間に無関係となり, 実効放射輝度での露光限界は $100 W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ となる.

3.2.3.2. 青色光による網膜傷害の露光限界—小形光源

小形光源の青色光による網膜傷害の実効放射照度 E_B は式 (3), 最大許容露光継続時間 t_{\max} は式 (4) により算出する. 小形光源の場合には, 分光放射輝度ではなく, 分光放射照度に基づいた式を用いる.

$$E_B = \sum_{300}^{700} E(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta \lambda \dots \dots \dots (3)$$

$$t_{\max} = 100 / E_B \text{ (ただし, 露光時間 } t \leq 100 \text{ sec のとき)} \dots \dots \dots (4)$$

ここに, $E(\lambda)$: 光源の分光放射照度 ($W \cdot m^{-2}$)

t_{\max} : 最大許容露光継続時間 (sec)

$B(\lambda)$: 青色光傷害作用関数

$\Delta \lambda$: 波長幅 (nm)

E_B : 小形光源の青色光による網膜傷害の実効放射照度 ($W \cdot m^{-2}$) であり, 露光限界は $100 J \cdot m^{-2}$ である.

$t > 100 \text{ sec}$ のとき, 露光限界は露光時間に無関係となり, 実効放射照度での露光限界は $1 W \cdot m^{-2}$ となる.

(古賀 翔大)

参考文献

- (1) Ham W T Jr, Mueller H A, Sliney D H: Retinal Sensitivity to Damage by Short-Wavelength Light, Nature, 260, 5547, pp.153-155 (1976)
- (2) 阿部友厚: 眼球組織の吸光特性, 日眼会誌, 96, pp.1387-1393 (1992))
- (3) (財) 日本規格協会: JISC7550, ランプ及びランプシステムの光生物学的安全性 (2011)

- (4) 小出良平ら：青色発光ダイオード光による網膜障害, 日眼会誌 10, pp.687-695(2001)
- (5) 森圭介ら：手術顕微鏡の短波長光と長波長光による網膜障害, 日眼会誌, 96, pp.1112-1119 (1992)
- (6) 森圭介ら：青色光による網膜障害と眼底の冷却効果, 日眼会誌, 101, pp.633-638 (1997)
- (7) 植田俊彦：青色光による網膜光障害, IOL&RS, 17-3, pp.344-345 (2003)
- (8) Bullough, J.D. : The Blue-Light Hazard : A Review, Journal of the Illuminating Engineering Society, 29-2, pp.6-14 (2000)

3.3. 知覚・心理的効果：不快グレア

3.3.1. はじめに

照明光は、ある空間に居る人に対して不快な眩しさを与えずに、明るく照らし視認性を高めることが基本機能である。特に、新しい光源が開発され照明分野に応用される毎に、グレアが懸念される。それは、従来の光源と比較して分光分布が異なるため、視覚機能へ与える影響を評価しなければならないためである。また、近年、新光源としてLEDが様々な照明分野で応用されるようになってきたことから、グレアは特に注目されている。グレアには、強い光によって対象が見えにくくなる減能グレアと、対象は見えたととしても眩しく不快な感じを生じさせる不快グレアがある。

本項では、照明光が人間に与える知覚・心理的効果の中でも特に、不快グレアを中心とした研究内容を視野範囲と用いた光源に分けて報告する。更に、明るさ感に関する最新の研究も合わせて報告する。

(喜多 靖)

3.3.2. 中心視におけるハロゲンランプ、キセノンランプ、蛍光ランプのグレア

人間は加齢に伴い、グレアに弱くなると言われている。例えば、Bennett は年齢と快・不快の境界輝度 BCD(Brightness between Comfort and Discomfort)との間に以下のような関係があることを示している¹⁾。

$$BCD=85650/\text{年齢}[\text{cd}/\text{m}^2] \quad \text{式(1)}$$

Bennett は白熱電球を用いて、光源からのグレアがBCDとなるように被験者に調光させているが、調光に伴う光源の色温度の変化は考慮していない。Bennettの実験における調光による光源の色変化は、2,200～3,600 Kであったことが矢野らの実験結果より推測されている²⁾。光色によってグレアが異なることは定性的にも知られており、BCDと年齢の関係式は、光源の色に応じて補正する必要がある。

矢野らもBennettと同様に、調整法により高齢者のグレアを検討している²⁾。表3.3.1に実験条件を示す。

表 3.3.1 矢野らの実験条件²⁾

	基準光	テスト光	
光源	ハロゲンランプ	キセノンランプ+ND フィルタ	蛍光ランプ(試作)
光源の大きさ	視角 2 度		
光源輝度	被験者ごとにBCDを設定	20～10,000 cd/m ²	
背景輝度	暗黒		
相関色温度	3,100 K	3,100～6,800 K	3,100～7,600 K
被験者		高齢者: 6 名(50～70 歳) 若齢者: 3 名(25～29 歳)	高齢者: 4 名(50～61 歳) 若齢者: 3 名(23～29 歳)

被験者は基準光に1分間順応した後、基準光(左目)とテスト光(右目)の不快感の程度が等しくなるよう、テスト光の輝度を調節した。被験者の視力は眼鏡を用いて左右とも0.6以上に矯正してある。図3.3.1に示す結果のように、高齢者のBCDは若齢者の半分程度であり、高齢者・若齢者とも光源の相関色温度が高いほど、BCDが低くなった。すなわち、高齢者の方が若齢者よりも不快感を感じやすく、高齢者・若齢者とも光源の相関色温度が高いほど、不快感を感じやすいことを示している。

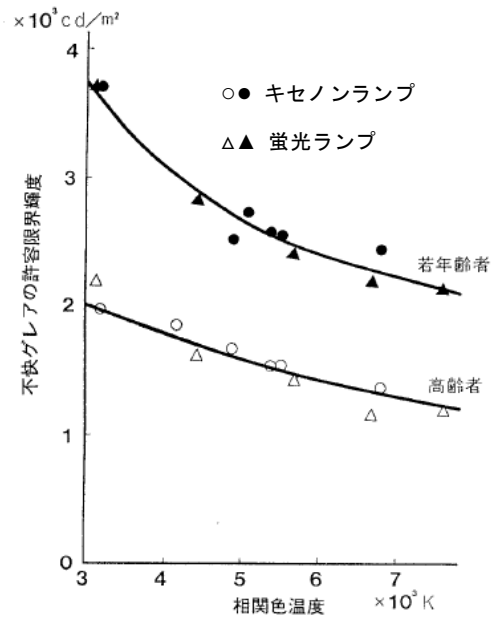


図 3.3.1 光源の相関色温度とBCDの関係²⁾

Bennett, 矢野らともBCDという単一尺度を用いているが、複数カテゴリーを用いた評価では、光源立体角が小さく背景輝度

が低い場合に、高齢者の方が若齢者よりもグレアを感じにくいことも報告されている³⁾。望月らは、光源立体角5条件、光源輝度3条件の組み合わせ計15条件について、4段階のカテゴリー評価ならびにGSVスケール⁴⁾による評価から、高齢者と若齢者のグレアを比較している(第一実験)⁵⁾。また光色の異なる光源に対する感度の違いを高齢者と若齢者とで比較した上で(第二実験)、光色によるグレアの違いを考慮しBennettや矢野らの実験結果との比較を行っている。表3.3.2に実験条件を示す。

表 3.3.2 望月らの実験条件⁵⁾

	第一実験	第二実験
光源	蛍光ランプ+トレーシングペーパー	白熱電球+トレーシングペーパー 蛍光ランプ+トレーシングペーパー
光源立体角	0.00345, 0.0147, 0.0627, 0.267, 1.139 sr	0.00345 sr
光源輝度	2,000, 4,000, 8,000 cd/m ²	白熱電球: 3,000 cd/m ² 蛍光ランプ: 1,000~9,000 cd/m ²
背景輝度	0.33~215 cd/m ²	鉛直面照度 100 lx
相関色温度	3,800 K	白熱電球: 2,200 K 蛍光ランプ: 3,800 K
被験者	高齢者: 20名 (平均 65.1歳) 若齢者: 30名 (平均 22.5歳)	高齢者: 16名 (平均 67.3歳) 若齢者: 20名 (平均 23.0歳)

図 3.3.2 に一例として、光源立体角 1.139 sr の場合の高齢者と若齢者のグレア評価の結果を示す。光源輝度が高くなるにつれて、高齢者、若齢者ともグレアを感じる傾向にあるが、高齢者は光源輝度が 8,000 cd/m² の場合でも“まぶしくない”と申告する被験者が 30%いた。第二実験の結果は図 3.3.3 に示すように、若齢者で相関色温度 2,200 K、輝度 3,000 cd/m² の白熱電球と相関色温度 3,800 K、光源輝度 1,738 cd/m² の蛍光ランプを等しい明るさ感じていた。高齢者は蛍光ランプの方が白熱電球よりも常に明るいと感じており、第一実験に用いた相関色温度 3,800 K の光源からの光を高齢者が知覚していなかった訳ではなかったことが確認された。高齢者の方がグレアを感じやすいという従来とは異なる結果となった。

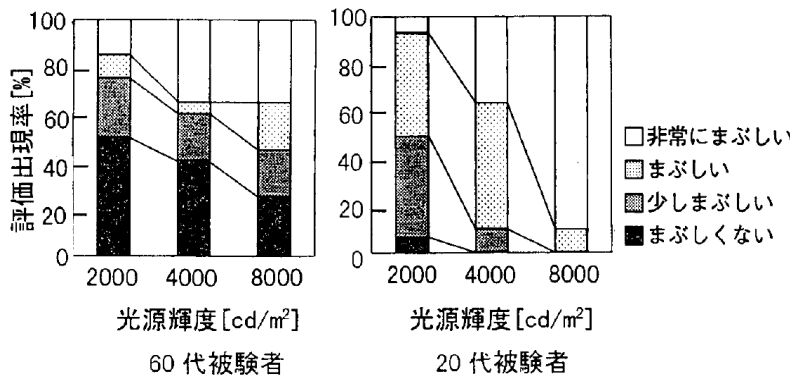


図 3.3.2 高齢者と若齢者のグレア評価
(光源立体角 1.139 sr の場合)⁵⁾

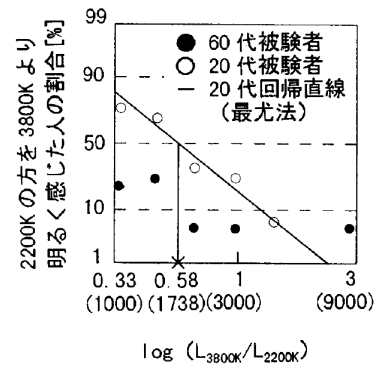


図 3.3.3 相関色温度による
高齢者と若齢者の明るさ知覚⁵⁾

図 3.3.4 に高齢者と若齢者のグレア感申告値 GSV の関係を、図 3.3.5 にグレア感申告値 GSV と不満足者率の関係を示す。若齢者の GSV と高齢者の GSV と関係は光源立体角ごとに異なり、光源が小さいほど、回帰直線の傾きは小さくなっている。すなわち、高齢者は若齢者よりもグレアを感じにくく、その傾向は光源立体角が小さいほど顕著であることがわかる。一方、図 3.3.5 に示すように、グレア感申告値 GSV に対する不満足者率 PD は高齢者の方が高く、高齢者はグレアを感じにくい、グレアに対する不満は若齢者よりも高くなることが示されている。

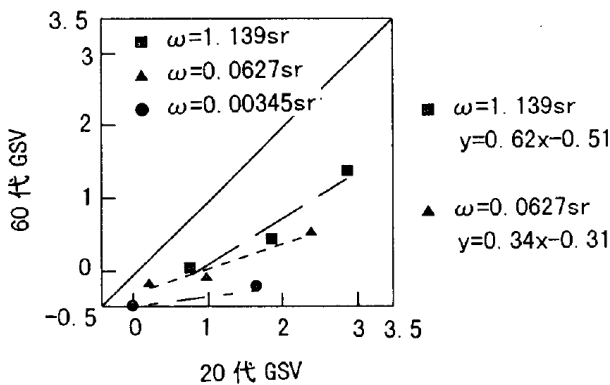


図 3.3.4 高齢者と若齢者の GSV の関係⁵⁾

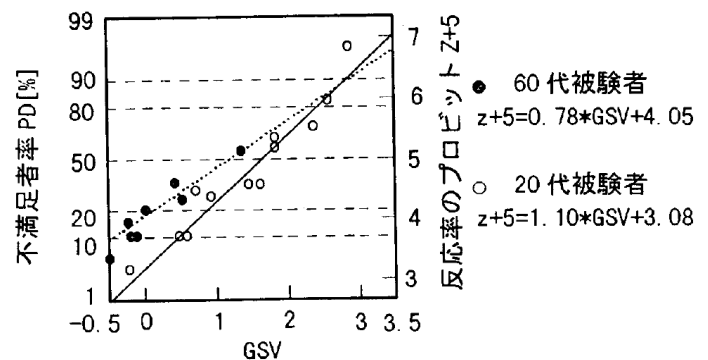


図 3.3.5 グレアに対する不満足者率⁵⁾

参考文献

- (1) Bennett, C. A.: The demographic variables of discomfort glare, *Lighting Design and Application*, 7-1, pp.22-24 (1977)
- (2) 矢野正, 金谷末子, 市川一夫: 高齢者の不快グレアー光色との関係ー, *照学誌*, 77-6, pp.296-303, (1993)
- (3) 山本弦, 畠中章, 岩田利枝, 木村建一: 光源の位置を考慮した高齢者の不快グレアに関する研究, *日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1 分冊*, pp.307-308 (1996)
- (4) Tokura, M., Iwata, T. and Shukuya, M.: Experimental study on discomfort glare caused by windows, Part. 3 Development of a method for evaluating discomfort glare from a large light source, *日本建築学会計画系論文集*, 第 489 号, pp.17-25 (1996)
- (5) 望月悦子, 岩田利枝, 塚見史郎, 木村建一: 大きい光源による高齢者と若齢者の不快グレア感に関する実験研究, *日本建築学会計画系論文集*, No.528, pp.17-22, (2000)

3.3.3. 中心視における白色 LED のグレア

3.3.3.1. はじめに

自動車用前照灯の光源については、従来から H4 バルブに代表されるハロゲンタイプのものが多く使用されており、現在では放電灯タイプ(High Intensity Discharge Lamp, HID)や LED タイプのものが普及しつつある。平成 22 年乗用車国内生産台数 3,939,768 台に対する HID, LED 前照灯の採用率は 43%となっている(国土交通省ホームページ <http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/resourse/data/H22souchakudaisuu.pdf> のデータに基づく)。白色 LED については、今後デザインの自由度の高さという長所も生かして自動車分野での市場導入が進むと考えられる。

しかし、これまでのハロゲンタイプの前照灯と比較して、白色の度合いが高いため眩しいのではないかという意見がある。このため、各種の色温度を有する白色 LED を使用してハロゲンタイプのものと比較してグレア感がどのように変化するかを調べた。また、若年者と高齢者によるグレア感の差異についても検討した^{1,2)}。

3.3.3.2. 実験方法

使用した LED は、青色 LED 光と黄色の蛍光発光を組み合わせるタイプのものであり、すべてピーク波長が同一であって青色成分と蛍光体の黄色成分の比率を変えることによって色温度を変化させた。実験に使用した 5 種類の LED (色温度は 5600 K, 6000 K, 7000 K, 10000 K, 17000 K) とハロゲン電球 (色温度は 3000 K) の色度座標を図 3.3.6 に示す。

暗室内で実験を行い、光源を約 2.0 mrad (7 分) 角の開口から被験者に対して呈示した。開口周辺は黒ラシャ紙で覆い、観測位置からプロジェクターで照射することにより周辺輝度を約 10 cd/m² とし、被験者は実験に先立ちこの輝度に順応した。観測距離は 10 m であり、被験者位置における角膜照度を 0.1~6 lx に変化させた。

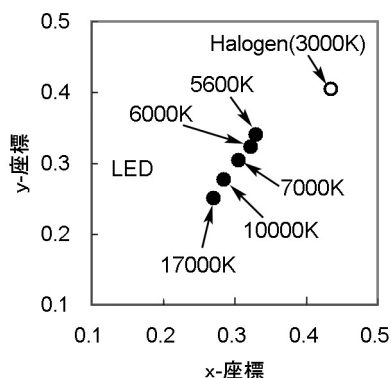


図 3.3.6 実験に使用した白色 LED とハロゲン電球の色度座標

被験者は若年者 14 名（20～30 歳，平均年齢 25.1 歳，SD3.5 歳），高齢者 14 名（65～74 歳，平均年齢 68.1 歳，SD2.6 歳）であり，いずれも外部から参加者であった．実験を実施する前に実験内容の説明を行い，実験に参加することの同意を得た．

グレア評価については表 3.3.3 に示すような de Boer の 9 段階評価により行った³⁾．評価値 1 は耐えられないグレアであり，数値が大きくなるに従い許容できるレベルとなる．5 は許容限界である．

表 3.3.3 de Boer によるグレア感評価尺度

評価尺度	意味
1	Unbearable
2	
3	Disturbing
4	
5	Just admissible
6	
7	Acceptable
8	
9	Noticeable

3.3.3.3. 実験結果

実験結果として，横軸に角膜照度，縦軸に de Boer の評価値をとったものを若年者と高齢者について求めたものを図 3.3.7 に示す．ハロゲンタイプの結果と，5 種類の LED 色温度による結果をそれぞれ示す．ハロゲンタイプと比較して，白色 LED の場合には de Boer の評価値は下方方向に移動する傾向があり，とくに若年者についてはその傾向が認められる．すなわち，若年者にとっては，照度が高くなると，ハロゲンタイプと比較して白色 LED の方がグレア感が高いと理解される．なお，異なる色温度の白色 LED 間ではグレア感の差は顕著ではないものの，色温度が高くなるにつれてグレア感が増す傾向があった．

若年者と高齢者との結果を比較すると，ハロゲンタイプでは差がないものの，白色 LED においては高齢者よりも若年者の方が，照度が高くなるにつれてグレア感が増す傾向がある．高齢者は水晶体の混濁により光の散乱の影響で眩しさを感じやすいといわれるが，今回の結果は異なる結果となった．この理由として，加齢による短波長成分の感度低下が原因として考えられる．

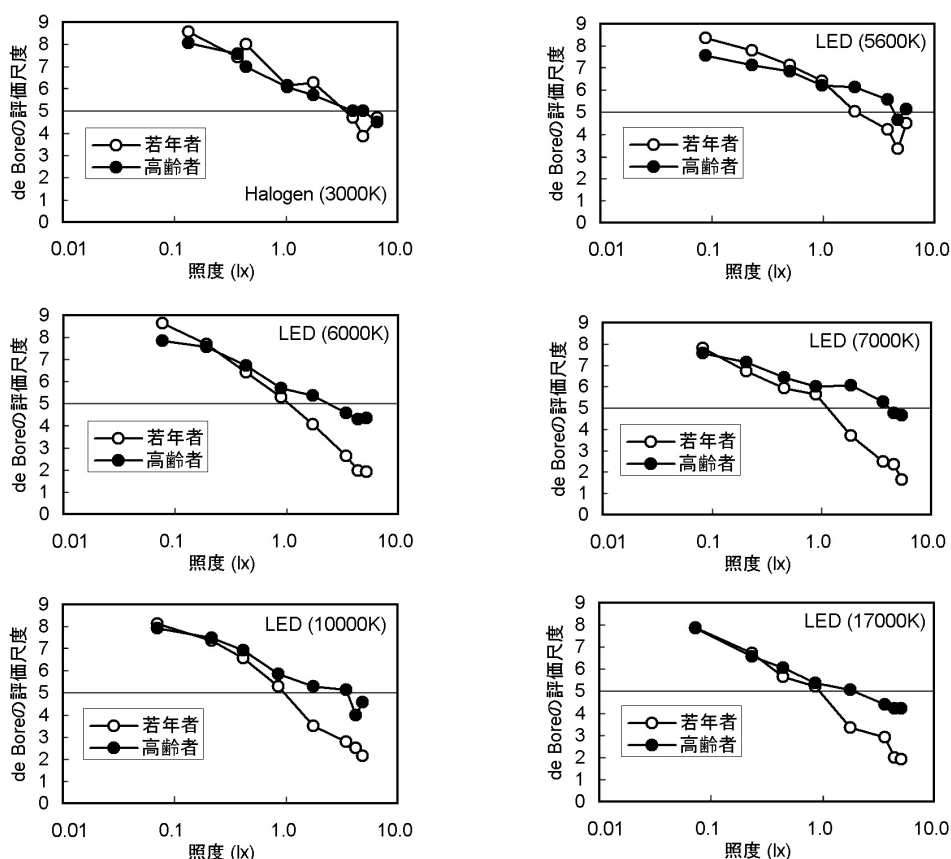


図 3.3.7 グレア感の評価結果

3.3.3.4.まとめ

近年、自動車用前照灯として普及しつつある白色 LED に関し、色温度によるグレア感の変化を暗室内実験により検証した。また、若年者と高齢者によるグレア感の差異についても調査した。その結果、ハロゲンタイプと比較して白色 LED の方がグレアを感じやすく、とくに若年者では角膜照度が高くなるにつれてこの傾向が顕著であった。若年者と高齢者とを比較すると、角膜照度が高い範囲において若年者の方がよりグレアを感じるという傾向が認められた。

(森田和元)

参考文献

- (1) 塚田, 豊福, 森田, 鈴木, 井手:「白色 LED の色温度によるグレアの変化」, 平成 19 年度照明学会第 40 回全国大会講演概要集, p.193 (2007)
- (2) 豊福, 塚田, 森田, 岡田:「自動車用前照灯用白色 LED の色温度に依存したグレア変化」, 交通安全環境研究所研究発表会講演概要集, pp.151-152 (2007)
- (3) H. -J. Shmidt-Clausen, J. Th. H. Bindels: "Assessment of discomfort glare in motor vehicle lighting", Lighting Research and Technology, 6-2, pp.79-88 (1974)

3.3.4. 中心視における有彩色光のグレア

3.3.4.1. はじめに

LED は従来からインジケータとして多くの場面で利用されてきた。近年、LED の技術進化により更に明るい素子が開発され、照明用途にも利用されるようになってきた。他の光源と比較して LED の利点は、①高速応答、②高効率、③長寿命が挙げられる。自動車分野において LED は、主にリヤランプとして広く利用されており、リヤランプに対する LED の使用に関しては、眩しさを指摘する人もいれば、眩しさをあまり感じない人もいて個人差が大きいことが考えられる。ところで、先行研究^{1,2)}によれば、個人の明るさ感度は、クロマティックタイプ（色型人間）とアクロマティックタイプ（輝度型人間）に大別されることが報告されており、個人の明るさ感度と眩しさにはなんらかの関係があると考えられる。そこで、有彩色 LED に対する個人の明るさ感度と眩しさの関係を報告した木村らの研究³⁾を紹介する。

3.3.4.2. 実験方法①

21~31 歳の観察者 15 名に対して、黄色の LED を参照光に、赤、緑、青の色光をテスト光に用いて、異なる色光の明るさ感度を直接比較法（HBM : heterochromatic brightness matching）とフリッカー法（FP : flicker photometry）の 2 種類の方法で測定した。

表 3.3.4. 明るさ感度測定に使用した光源の特性³⁾

Symbols of stimulus	Color	Chromaticity coordinates (x, y)	Dominant wavelength λ_d (nm)	Half bandwidth $\Delta\lambda$ (nm)
B	Blue	(0.15, 0.04)	459	~22
G	Green	(0.27, 0.70)	542	~32
R1	Red	(0.70, 0.30)	628	~19
Y (Reference)	Yellow	(0.47, 0.52)	574	~30

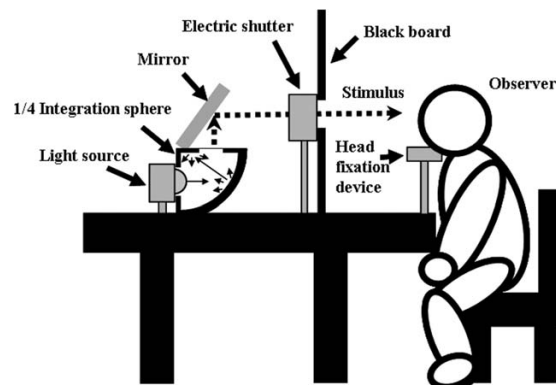


図 3.3.8. 明るさ感度測定に用いた装置の概略図³⁾

3.3.4.3. 実験方法②

同一の被験者に対してドミナント波長が異なる 6 種類の LED (B: 459 nm, G: 542 nm, Am: 589 nm, R1: 628 nm, R2: 620 nm, W: 6800 K) と白熱球にアクリルレンズで透過させた赤色光: 617 nm を用いて, de Boer の 9 点尺度法⁴⁾による不快グレア評価を行った。

表 3.3.5. 眩しさ主観評価に使用した光源の特性³⁾

Symbols of stimulus	Color	Chromaticity coordinates (x, y)	Dominant wavelength λ_d (nm)
B	Blue	(0.15, 0.04)	459
G	Green	(0.27, 0.70)	542
Am	Amber	(0.55, 0.45)	586
R1	Red	(0.70, 0.30)	628
R2	Red	(0.69, 0.31)	620
R	TH Red	(0.68, 0.32)	617
W	White	(0.30, 0.31)	Correlated color temp. 6800 K

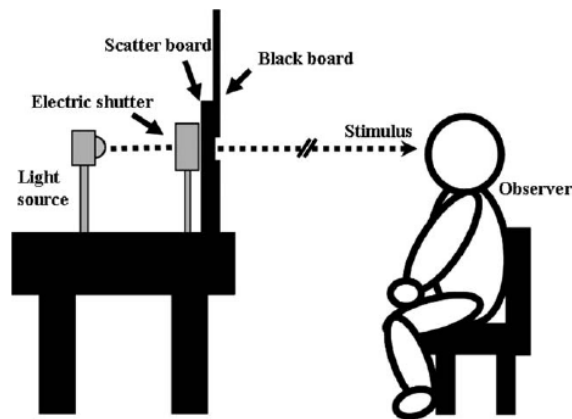


図 3.3.9. 不快グレア評価に用いた装置の概略図³⁾

表 3.3.6. de Boer の 9 点尺度⁴⁾

評価尺度	意味
1	Unbearable
2	
3	Disturbing
4	
5	Just acceptable
6	
7	Acceptable
8	
9	Noticeable

3.3.4.4. 実験結果①

実験結果を図 3.3.10 に示す。横軸は波長，縦軸は HBM で測定した視感度と FP で測定した視感度の比であり，視感度に対する色みの効果を表している。図中の●は本実験で得られた結果であり，○は Yaguchi ら²⁾の研究で得られた結果である。図 3.3.10 の左側のよう、短波長，長波長の二つの領域に対して色みが明るさ感度に寄与するタイプと，真中のよう、短波長側の領域に対して色みが明るさ感度に寄与するタイプと，右側のよう、色みが明るさ感度に寄与しない 3 タイプに分類され，先行研究と同様の結果になった。

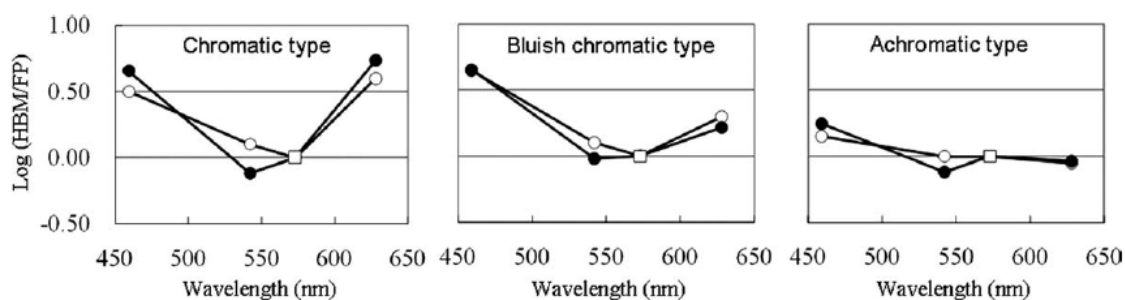


図 3.3.10. 個人の明るさ感度 (3 つのタイプ)³⁾

3.3.4.5. 実験結果②

図 3.3.11 に B, G, Am, R1 に対する眩しさ主観評価の結果を示す。横軸は輝度を対数で表記し，縦軸は De Boer スケールを示す。図中のシンボルの違いは，各観察者の平均値を表し，点線は全観察者の平均値を示している。まず，どの刺激光に対しても輝度が上昇すれば，de Boer 値が小さくなり，眩しさが増加していることが分かる。一方，被験者毎に見ると主観評価が大きく異なることが分かる。例えば，刺激 B に対して，Chromatic type に分類された観察者 MH は 100 cd/m² で不快グレアの許容限界に達しているが，Achromatic type に分類された観察者 TO は 3,981 cd/m² になっても不快グレアの許容限界輝度に達していない。よって，有彩色光に対する眩しさは個人差が大きいことがうかがえる。

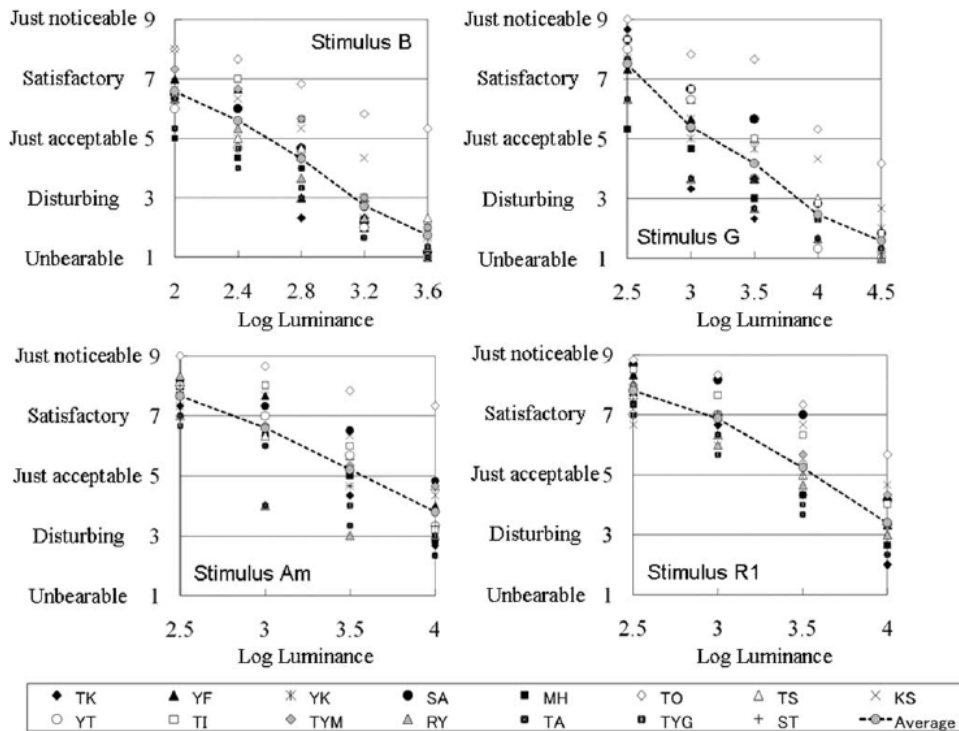


図 3.3.11. 眩しさの主観評価結果（刺激光：B, G, Am, R1）³⁾

図 3.3.11 の各刺激光に対して、全観察者の主観評価平均値から許容限界である Just acceptable 5 に相当する輝度を算出した結果が図 3.3.12 である。この結果から刺激光 B のみが、他の光源と比較して統計的有意差が得られた。つまり、刺激光 B は他の光源と比較して少ない輝度で眩しさを感じていることがわかる。

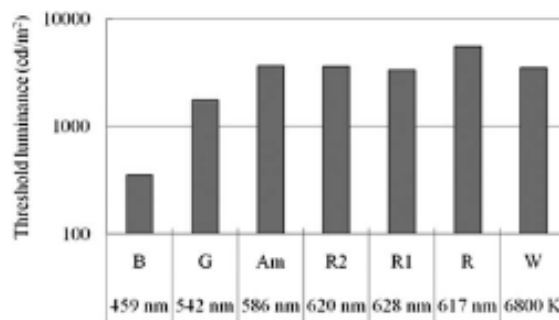


図 3.3.12. 眩しさの許容限界輝度 平均値³⁾

3.3.4.6. 考察

実験結果①で得られた個人の色みに対する明るさ感度と実験結果②で得られた眩しさの許容限界輝度の相関関係を算出したものが図 3.3.13 である。刺激光 B は個人の色みに対する明るさ感度と眩しさには強い相関関係があることが分かる。つまり、Chromatic type

に分類される観察者は、他のタイプと比較してより眩しさを感じやすいこと示唆している。

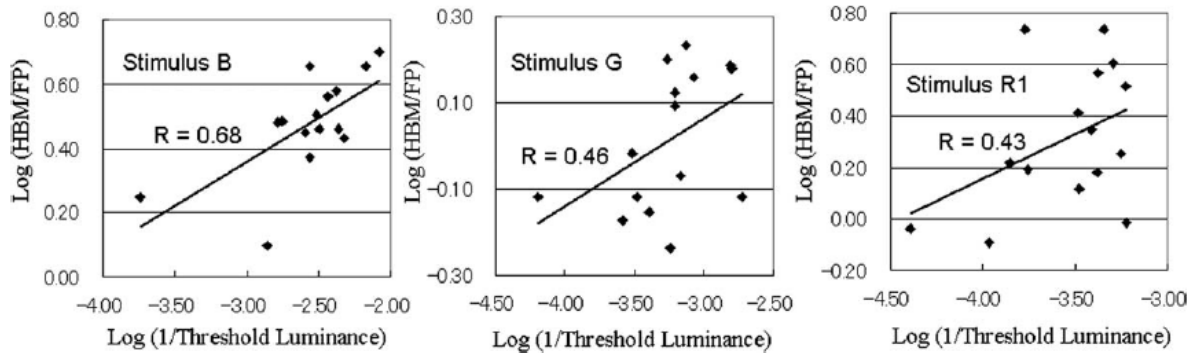


図 3.3.13. 各観察者の $\text{Log}(\text{HBM}/\text{FP})$ と $\text{Log}(1/\text{許容限界輝度})$ ³⁾

更に、次式に示す輝度と色みを考慮したグレアメカニズム関数 (GMF) を導入して、色みと眩しさの関係を調査した。

$$GMF = \int L_{e\lambda} (V(\lambda) + k_1|r - g|_{\lambda} + k_2|y - b|_{\lambda}) d\lambda$$

ここで、 $L_{e\lambda}$ は分光放射輝度を、 $V(\lambda)$ は分光視感度を、 $(r - g)_{\lambda}$ と $(y - b)_{\lambda}$ は反対色レスポンス関数⁵⁾を示す。図 3.3.14 の(b)がその計算結果であり、個人の色みに対する感度を考慮した GMF は、実験結果と強い相関関係があることがわかる。

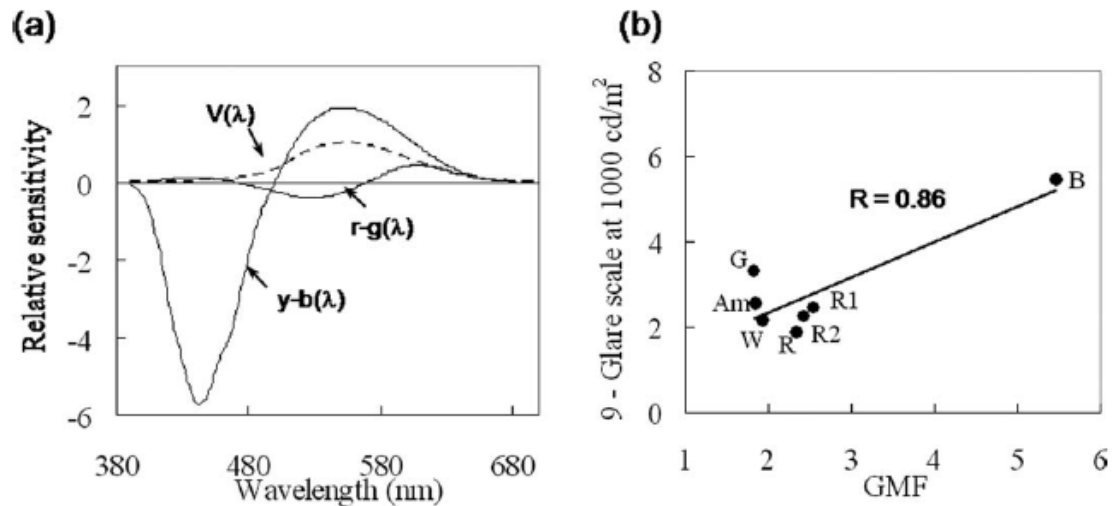


図 3.3.14. GMF と $1000\text{cd}/\text{m}^2$ におけるグレア評価値との関係³⁾

(喜多 靖)

参考文献

- (1) Ikeda, M., Yaguchi, H., Sagawa, K.: Brightness luminous-efficiency functions for

28 and 108 fields, J Opt Soc Am 72, 1660–1665(1982).

- (2) Yaguchi, H., Ikeda, M.: Mesopic luminous-efficiency functions for various adapting levels. J Opt Soc Am A 1, 120–123(1984).
- (3) Kimura-Minoda, T., Ayama, M.: Evaluation of Discomfort Glare from Color LEDs and Its Correlation with Individual Variations in Brightness Sensitivity, Color research and application, 36-4, pp.286-294 (2011)
- (4) Shmidt-Clausen, H. -J., Bindels, J. T. H.: Assessment of discomfort glare in motor vehicle lighting, Lighting Research and Technology, 6,-2, pp.79-88 (1974)
- (5) Boynton, R. M., editor. The encoding of color. Human Color Vision. New York: Holt, Rinehart and Winston; pp.207–250 (1979)

3.3.5. 周辺視における有彩色光のグレア

Bennett, 矢野ら, 望月らの実験はいずれも中心視でのグレアを扱っているが, 青色光を知覚する S 錐体は, 網膜上の中心窩にはほとんど存在せず, 視野周辺部に存在する¹⁾. そのため, 視野周辺に青色光を多く含む光源がある場合には, よりグレアを生じる可能性もある.

岩田らは, 周辺視による青色光の不快グレアについて, 被験者 20 名を用いて, 調整法と比較法の 2 つの実験により評価している²⁾³⁾. グレア源の立体角は 0.002 sr, 基準光源の輝度は 1,600 cd/m² で, 光源には図 3.3.15 に示す 2 種類の LED を用いている. 結果は図 3.3.16 に示す通りで, 基準光源 (白熱電球) よりもテスト光源 (LED) の方がまぶしいと回答した被験者の割合は, テスト光源が白色 LED の場合よりも青色 LED の場合の方が高くなっている. 周辺視では, 青色光の方が白色光よりもグレアを感じやすい結果が得られている.

望月らも, 周辺視におけるグレアに対する分光分布の影響を確認することを目的として, 視野中心の基準光源 (白色光) と視野周辺部の評価光源 (青色光) のグレアの程度を ME 法で比較評価している⁴⁾. 評価光源は, 20 W 電球型蛍光ランプで, 昼白色 ($x = 0.34, y = 0.35$) と青色 ($x = 0.17, y = 0.13$) の 2 種類を用いている. 図 3.3.17 に示すような視野装置を用いて, 視野中心に呈示された白色光源によるグレアに対し, 周辺に呈示された青色光源によるグレアの程度を ME 法で, 被験者 20 名 (平均 22.2 歳) に 1 条件につき 3 回ずつ評価させている. グレア源の立体角は 0.0030 sr, 光源輝度は 8,000 cd/m² である.

結果は図 3.3.18 に示す通りで, 白色光によるグレアと同様, 青色光でも視線より下に光源がある場合の方が, 上にある場合よりもまぶしさを感じやすい結果となった. 視線より

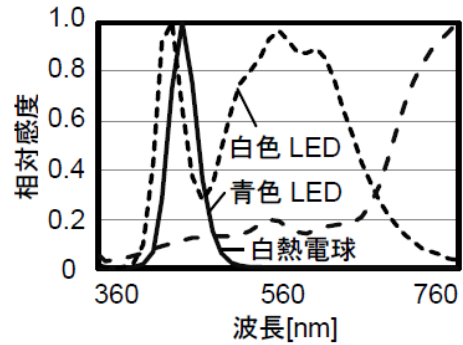


図 3.3.15 実験に使用した光源の分光分布

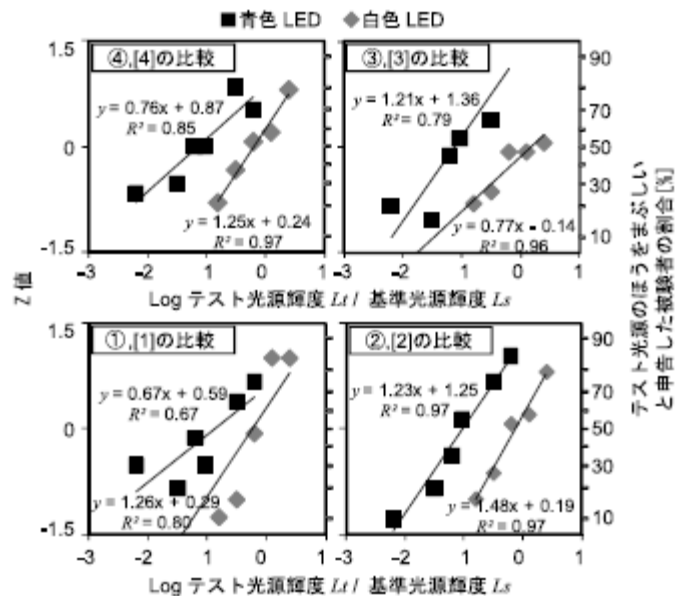
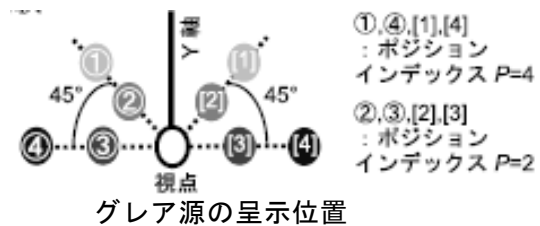


図 3.3.16 青色 LED と白色 LED のグレア比較

下に青色光源がある場合は、水平方向の位置によるグレア感度に違いが見られ、分散分析の結果からも有意差 ($p<0.05$) が確認されている。

浅野らは、図 3.3.19 に示すような各視細胞の感度がピークとなる波長に最大出力をもつ 3 種類の LED を用いて、S 錐体と杆体のグレアへの寄与を明らかにした上で、不快グレアの機構モデルを提案することを試みている⁵⁾。実験では、異なる位置 (視線中心を 0° とし、偏心角 5° 、 10° 、 20° の 4 条件) に、輝度が低い値から高い値へ徐々に変化するグレア源を呈示する。被験者 27 名 (19~25 歳)

には、グレア源が快と不快の境界 (BCD) になった時点で申告させ、光源の色と位置の違いによる BCD 輝度を求めている。図 3.3.20 に示す通り、シアンの BCD 輝度は他の 2 種類の光源よりも低く、いずれの位置についても有意差 ($p<0.01$) が確認されている。またホワイトとアンバーは偏心角が大きくなるにつれ BCD 輝度が上昇するのに対し、シアンは偏心角によらず BCD 輝度はほぼ一定であるため、視野周辺部にグレア源の位置がずれても、まぶしさは低下しない可能性が考えられる。

実験方法が異なるため、位置によるグレアの違いは各研究で傾向が異なるが、いずれの結果から、周辺視では短波長光を多く含む光源の方がグレアを感じやすいことがわかる。

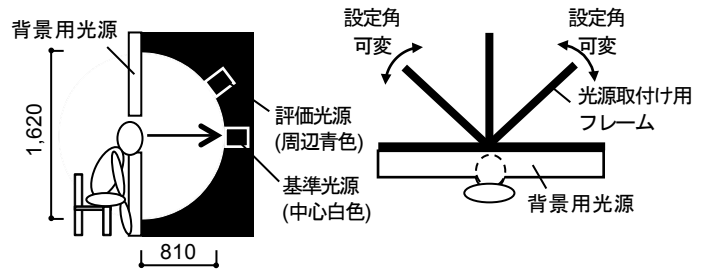


図 3.3.17 視野装置

光源の縦方向設置距離 X /視距離 L
 視線より上 ● 0.0 ▲ 0.2 ■ 0.4 ◆ 0.6
 視線より下 ○ 0.0 △ 0.2 □ 0.4 ◇ 0.6

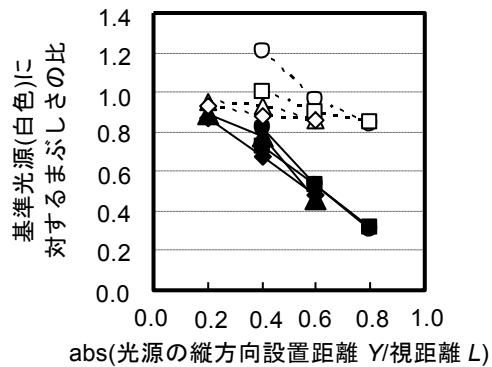


図 3.3.18 評価光源と基準光源のグレア比較

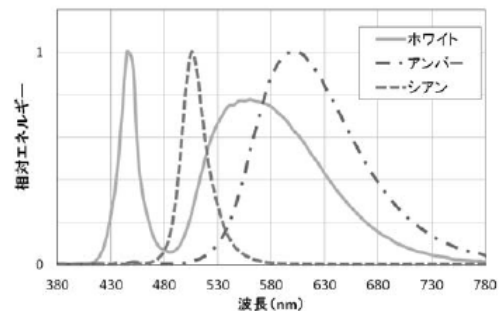


図 3.3.19 実験に用いた LED の分光分布

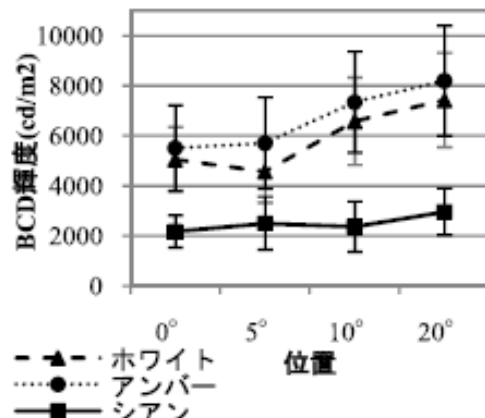


図 3.3.20 光色と位置による BCD 輝度の違い

(望月悦子)

参考文献

- (1) 内川恵二: 人間は本当に青に鈍感なの?, 映像情報メディア学会誌, 56-9, pp.1462-1463 (2002)
- (2) 村田正徳, 岩田利枝: 周辺部不快グレアに関する基礎研究, 第44回照明学会全国大会講演論文集, p.143 (2011)
- (3) 村田正徳, 長吉謙輔, 岩田利枝, 伊藤大輔: LED光源を用いた周辺視の不快グレア評価に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.517-520 (2011)
- (4) 望月悦子, 岩田利枝, 伊藤大輔, 戸倉三和子: 周辺視における青色光に対するグレア感度, 第44回照明学会全国大会講演論文集, p.180 (2011)
- (5) 浅野翔平, 藤田剛志, 明石行生: LEDからの不快グレアの視覚的機構に関する一考察, 第10回ヤングウェブフォーラム講演予稿集, pp.21-24 (2012)

3.3.6. 前照灯光源の分光分布が視対象の明るさに与える影響の研究

前照灯の照明光源が白熱電球からハロゲン電球，放電灯(HID)と高効率光源に進展する各段階で，我々自動車照明技術者は路面の見かけの明るさ向上，グレアの増加を実感してきた．その進展過程の中で我々は「同一測光量であるのに光源の分光分布の相違によりなぜ心理的なグレア量や見かけの明るさが異なるか？」という疑問を有してきた．

このうちの光源の分光分布が見かけの明るさに与える影響に関する研究は現在までのところ，自動車照明分野では見あたらない．一方，室内照明分野では三波長型蛍光ランプ登場以降，輝度と明るさが異なることが指摘され，CIE(国際照明委員会)を中心に数多くの研究が実施された．そして有彩色物体が明るく見える現象は輝度(luminance)と明るさ(brightness)の比を取り B/L と表記された^{1,2)}．その間の差の原因を検討するために明るさの基本となる分光視感効率が研究され，交照法(現在の 1931CIE システムの輝度計測に対応)と直接比較法(明るさ計測に対応)間に差があることが指摘され^{3,4,5)}，新たに明るさを説明する測光システムが種々提案された⁴⁾．ベクトル輝度で説明するシステム^{6,7)}，色度の多項式により説明するシステム⁸⁾，錐体 LMS の対数線形結合によるシステム等である⁹⁾．

一方，グレアに関する研究は，HID 登場以降，高齢化の進展も相まって前照灯の眩しさが問題視され，今日の LED 前照灯まで盛んに研究されてきている．Sivak らの研究¹⁰⁾や Bullough らの研究¹¹⁾では，光源の分光分布が不快グレアに与える影響を研究し，青色光成分の影響が大であることを示した．また橋本らの研究¹²⁾では，加齢に伴い不快グレアの増大を示し，塚田らの研究¹³⁾では色温度の高いものほど不快グレアが増大することを報告している．一方，小林らは三波長型蛍光ランプにおける研究を参考に S 錐体の分光応答を考慮した新たな測光システムを提案し，その測光システムにより前照灯光源の分光分布が明るさや不快グレアに及ぼす影響をよく説明できるとした^{14,15,16)}．

本稿では小林らの路面の明るさに関する研究¹⁴⁾の概要を紹介する．

3.3.6.1. 実験装置

実験装置を図 3.3.21 に示す．装置は，前照灯(光源)及び，路面サンプル，路面サンプルの傾きを調整するための回転台，明るさ比較のための回転台，明るさ比較のためのマッチング刺激を呈示する CRT ディスプレイ，そして外光を遮光し順応輝度が調整可能な観測室からなる．なお，光源の変

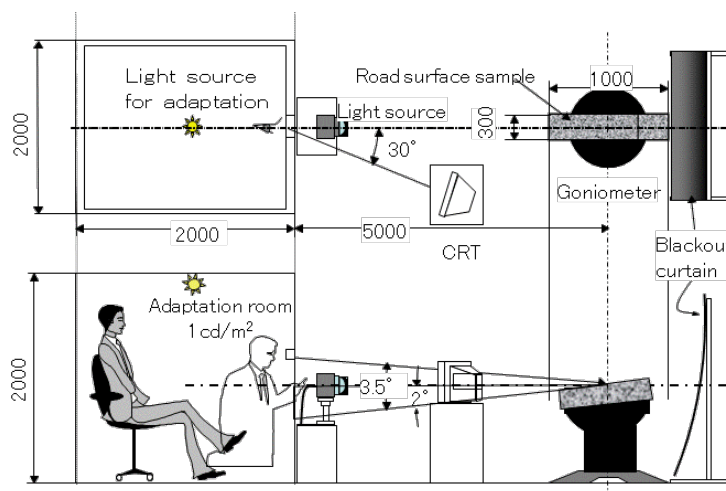


図 3.3.21 実験装置と配置

更は前照灯を交換することにより実施する。この実験装置を暗室内に設置した。

3.3.6.2. 実験条件の詳細

・ 路面サンプル

路面サンプルは屋外にて7年間経年使用したものを採用した。サイズは300×1000 mmで、これを観測窓正面に観測角3.5°，光源からの入射角2°，再帰反射角1.5°となるように配置した(乗用車の前方20 mの観測条件にほぼ相当)。この観測条件下における路面の反射率は約2.5%で、可視光域においてほぼフラットな分光反射特性を有する。路面サンプルの輝度は各光源で達成可能な13 cd/m²に設定した。その視角サイズは200' (水平方向)×40' (鉛直方向)であり、中心視による小さな視対象の明るさ評価となっている。

・ 観測室

観測室には観測窓を設置し、観測窓から被験者が路面サンプルとCRTディスプレイを同時に見えるようにした。観測室の観測窓付近の内壁は、被験者の目を前照灯ロービーム環境の順応輝度に合わせるようにするために、白色光で1 cd/m²となるように照明した。

・ CRTディスプレイ

LG社製14インチCRT Studio Works 575Nを使用した。CRT画面には路面サンプルを模擬したそれとほぼ同一視角サイズのマッチング刺激を呈示した。視角サイズは140' (水平方向)×35' (鉛直方向)である。マッチング刺激の輝度を13 cd/m²に、その周辺部の輝度を1 cd/m²に設定した時のxy色度を表3.3.7に示す。

表 3.3.7 マッチング刺激の色度

位置	呈示輝度	色度
マッチング刺激部	13 cd/m ²	x=0.283, y=0.286
周辺部	1 cd/m ²	x=0.264, y=0.254

・ 光源の特性
実験に使用した照明光源の分光分布を図3.3.22に、それらの特徴を表3.3.8に示す。

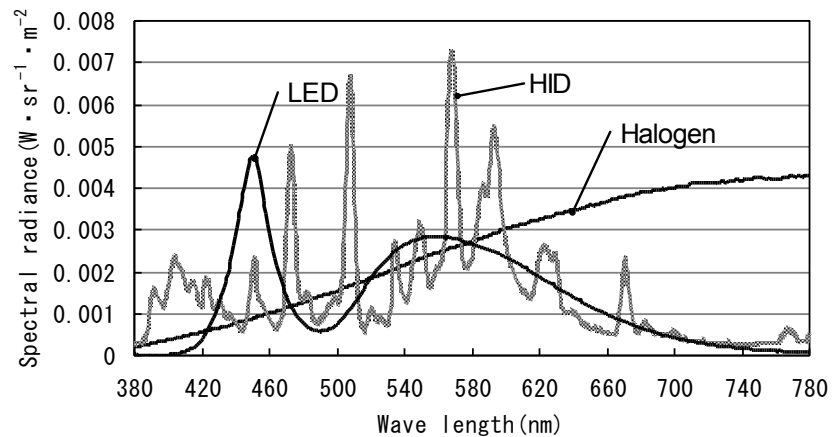


図3.3.22 光源の分光分布

表 3.3.8 照明光源の特徴

光源の種類別	内容
HID	D4S(水銀レス電球規格品)
LED	Blue:InGaN+ Yellow phosphor
Halogen	HB3(ハロゲン電球規格品)

・ 輝度・色度計測器

輝度、色度及び分光分布はトプコン社製の分光放射計SR-3Aを使用して測定

した。

・ 被験者

被験者は、年齢 25～65 才の男性 37 名、女性 3 名の計 40 名で、平均年齢は 48 才、うち眼鏡着用者は 4 名である。

3.3.6.3. 実験方法と実験手順

光源間の明るさの評価測定は CRT ディスプレイ上にマッチング刺激を呈示し、この刺激と所定の前照灯光源で照明された路面の明るさが等価となる刺激輝度(等価輝度; L_{eq})を計測することにより行なう。光源の相違が視対象の明るさに及ぼす影響は、このマッチング刺激を基準として評価する。

実験に先立ち、前照灯照明光源と CRT ディスプレイを 1 時間エイジングする。その後、路面サンプルを輝度 13 cd/m^2 に調整し、更に 5 分程度安定させる。被験者を暗室に入室させ 5 分間暗順応させる。その後、被験者を観測室に入室させ、5 分間観測窓付近の内壁を観察させ前照灯ロービーム環境の順応輝度 1 cd/m^2 に順応させる。次に被験者は CRT ディスプレイに表示したマッチング刺激の最小・最大輝度を確認する。

被験者は、マッチング刺激の明るさが路面サンプルの明るさと同一となるようにマッチング刺激の諧調を調節する。この輝度値を該当する路面サンプルの明るさに対する評価値、即ち等価輝度(L_{eq})とする。上記の手順にて前照灯(光源)を交換し、 L_{eq} の測定を繰り返す。3 種の光源の評価完了後、被験者を交代させ実験を繰り返す。なお、各光源に対する被験者の L_{eq} 測定回数は 1 回である。

3.3.6.4. 結果

図 3.3.23 に全被験者の等価輝度(L_{eq})の測定結果を示す。図の横軸は被験者の年齢を、縦軸は等価輝度 L_{eq} を、図中の記号は照明光源の種別を表し、□は LED を、△は HID を、●はハロゲンの結果を示している。各光源とも被験者によるバラツキが大きい結果となっている。なお、図中の直線は、各光源に対して求めた L_{eq} の年齢に対する回帰直線である。

表 3.3.9 に L_{eq} の全被験者に対する平均値、その標準偏差 σ 、比率、回帰直線の決定係数 R^2 とその傾きを示す。なお、ここで Ratio(比率)とは HID の L_{eq} 平均値を 1 として正規化した時の LED、ハロゲ

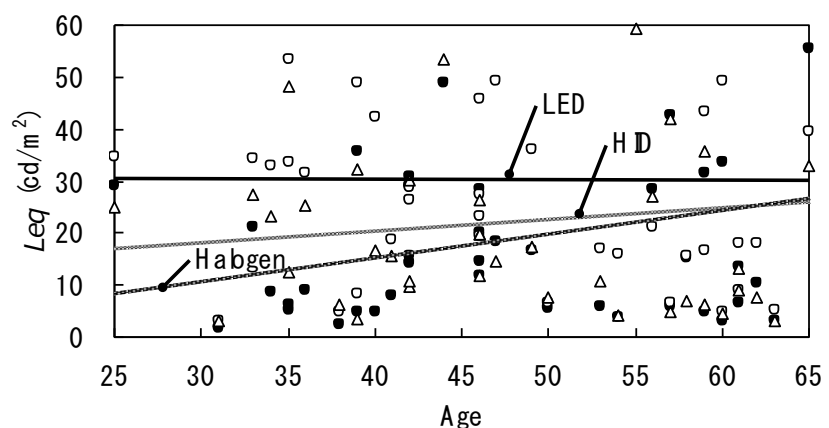


図3.3.23 各照明光源下における等価輝度 L_{eq} の測定

ンの Leq の値である。

上記の結果より、HIDを1に正規化した時のLEDの明るさはHIDに対して1.37倍と高いが、ハロゲンは逆にHID

に対して0.86倍と低い。これは照明光源の分光分布の相違の影響が考えられる。また、ハロゲンとHIDには加齢の影響が見受けられる。LEDはハロゲンとHIDと比較して被験者年齢層全般に渡って明るさが高いと評価している。

表3.3.10に照明光源間のt検定の結果を示す。HID×LEDのp値は0.0671で5%に近いが、HID×Halogenのp値は0.4525で有意差なし、LED×Halogenのp値は0.0096と1%有意であった。

表3.3.11に各照明光源の色温度と三刺激値(X,Y,Z)、等価輝度 Leq の平均値の結果をまとめた。被験者全員の等価輝度 Leq の平均値と三刺激値Z、色温度との

関係を図3.3.24と3.3.25に示す。

これらの結果より等価輝度 Leq は三刺激値のZ並びに色温度との相関が強いと言える。

Zは3種ある眼の視細胞の中でも短波長に応答するS錐体の反応である。また色温度は短波長光成分の増加と共に上昇する。これらより今回の路面に対する明るさは光源の分光

表 3.3.9 各照明光源下における等価輝度 Leq の実験結果

光源の種類	Leq (cd/m^2)	σ	Ratio ※1	R^2	傾き
HID	22.09	19.29	1.00	0.016	0.225
LED	30.35	20.51	1.37	0.000	-0.002
Halogen	18.95	17.79	0.86	0.076	0.455

※1 ; Ratio = (所定光源の平均 Leq) / (HID の平均 Leq)

表 3.3.10 各照明光源間の等価輝度 Leq の t 検定の結果

光源の種類	分散	p 値	検定
HID vs. LED	1366.80	0.0671	$p > 0.05$
HID vs. Halogen	196.27	0.4525	-----
LED vs. Halogen	2598.97	0.0096	$p < 0.01$

表 3.3.11 各照明光源の色温度と三刺激値 (X , Y , Z) , 等価輝度 Leq の平均値

光源の種類	色温度	三刺激値			Leq (cd/m^2)
		X	Y	Z	
HID	4242	12.47	13.00	6.49	22.09
LED	5293	13.01	13.00	10.83	30.35
Halogen	3092	14.08	13.00	4.41	18.95

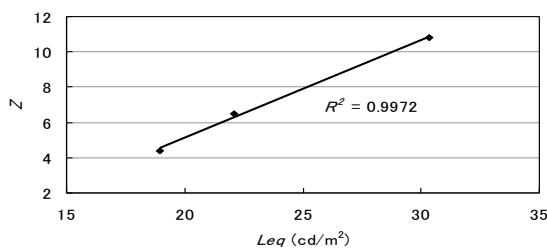


図 3.3.24 三刺激値 Z と等価輝度 Leq の平均値との関係

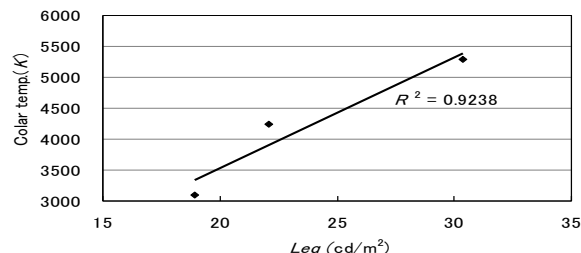


図 3.3.25 色温度と等価輝度 Leq の平均値との関係

成分，中でも短波長光即ち青色光成分の影響を受けることを示唆している．そこで加齢の影響並びに S 錐体の反応を考慮した明るさに関わる比視感度曲線の検討を実施した．

3.3.6.5. S 錐体を考慮した明るさに関わる比視感度曲線の提案

現在の CIE1931 表色系の測光システムでは，測光量計算式(1)で用いる標準比視感度，すなわち CIE $V(\lambda)$ は S 錐体が輝度に寄与しないという前提で求められている^{3,4)}．

$$L = Km \int_{380}^{780} S(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1)$$

しかし，実験から得られた結果は S 錐体の感度領域である短波長成分が明るさに寄与していることを示唆していることから，明るさに対応する新たな分光視感度を $V_k(\lambda)$ と記すこととし， $V_k(\lambda)$ を式(2)のように定義した．

$$V_k(\lambda) = K \cdot G_s(\lambda) + V(\lambda) \quad (2)$$

ここで $G_s(\lambda)$ は S 錐体の分光感度， K は S 錐体の感度 $G_s(\lambda)$ が寄与する割合を決定する係数である．なお，S 錐体の分光感度 $G_s(\lambda)$ は Smith & Pokorny¹⁷⁾ のデータを採用した．今回の実験結果に最も適合する値を求めた結果， $K=1.49$ が得られた．そこで， $G_s(\lambda)$ ，

$V(\lambda)$ ，及び K を 1.49 に設定した時の $V_k(\lambda)$ を図 3.3.26 に示す．標準比視感度曲線 $V(\lambda)$ に対して， $V_k(\lambda)$ は短波長側の感度を高めた形状となっている．

前記の如く設定した $V_k(\lambda)$ に加齢効果を考慮できるようにするために式(2)を更に改良した．これを式(3)に示す．ここで $V_{age}(\lambda)$ は前述の JIS S0031 の年代別比視感度における年代別比視感度である¹⁸⁾． $V_{kage}(\lambda)$ はその年代に対応した分光視感度である．

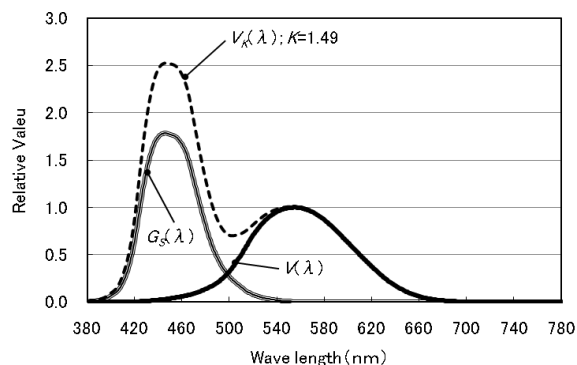


図 3.3.26 分光視感度 $V_k(\lambda)$ の提案

$$V_{kage}(\lambda) = K \cdot G_s(\lambda) + V_{age}(\lambda) \quad (3)$$

式(3)の $V_{age}(\lambda)$ を式(1)の $V(\lambda)$ に代入し，30代，40代，50代，そして60代の各年齢別の L_{eq} を各光源に対して求めた (K は 1.49)．結果を表 3.3.21 に示す．

L_{eq} を LED の計算結果で正規化

表 3.3.21 実験結果の L_{eq} と $V_k(\lambda)$ による L_{eq} 計算値の比較

光源の種別	計算結果		実験結果	
	傾き	R^2	傾き	R^2
HID	-0.448	0.929	0.225	0.016
LED	-0.492	0.954	-0.002	0.000
Halogen	-0.207	0.935	0.455	0.076

したグラフを図 3.3.27 に示す。回帰直線群は図 3.3.23 のそれとよく似ている。また、 $V_k(\lambda)$ によって加齢変化も精度よく説明できることから、今回提案した $V_k(\lambda)$ を用いた明るさ評価法は妥当性が高いといえる。

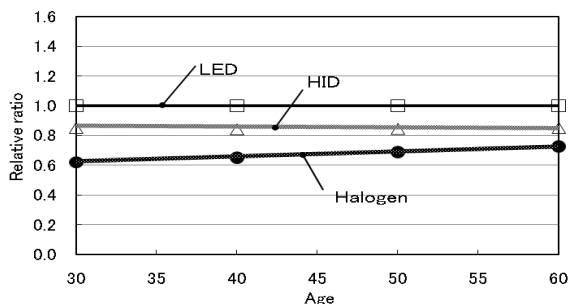


図 3.3.27 加齢を考慮した $V_k(\lambda)$ による L_{eq} 正規化計算値 (LED=1)

3.3.6.6.まとめ

本研究では前照灯の照明光源の分光分布が視対象の明るさに及ぼす影響を調査した。照明光源はハロゲン、HID、LED の白色系光源 3 種類、評価視対象は路面サンプルを選定した。視対象の視角サイズは $200'$ (水平方向) $\times 40'$ (鉛直方向) と比較的小さな視対象であり、中心視の明るさを評価した。実験は視対象とマッチング刺激を直接比較させ、明るさに関する等価輝度 (L_{eq}) を測定することにより行い、視対象の明るさに対する影響は L_{eq} の測定結果を測光システムの面から解析した。

(1) 明るさの実験結果

路面サンプルに対する LED 光源の明るさは、HID の 1.37 倍、ハロゲンの 1.60 倍であった。LED とハロゲン間における平均値の差は 1% 有意であった。

消費電力の観点から見ると、LED 光源は HID の消費電力よりも $0.75 (= 1/1.35)$ 倍の電力で HID 相当の“明るさ”を得ることが出来ることから、LED 光源は明るい光源であると共に、省電力で環境にもやさしい優れた光源であると言える。

(2) 照明光源による明るさ相違に関する解析結果

路面サンプルにおける光源間の明るさの相違原因を等価輝度 (L_{eq}) と三刺激値 (X, Y, Z) 並びに色温度の面から解析した。その結果、明るさの指標である等価輝度 L_{eq} は路面サンプルでは三刺激値 Z と色温度に対して相関が強いという結果となった。

(3) 測光システム面からの解析結果

L_{eq} が三刺激値 Z との相関が高いという結果から、 L_{eq} に対応した測光システムとして S 錐体の分光感度も考慮した分光視感度 $V_k(\lambda)$ を導入した式(2)を用いて実験結果を解析した。各実験結果を定量的に精度よく説明できる K 値は、路面サンプルで 1.49 であった。これは視対象の分光反射特性により K 値を修正する必要性を示唆している。

(4) 明るさの加齢効果について

路面の明るさについてはハロゲンと HID については加齢効果が見られた。これについては $V_k(\lambda)$ に JIS S0031 の年代別視感度における年齢の違いによる比を乗じて年齢別の等価輝度 L_{eq} を算出することにより加齢変化を良く説明できることを示した。

3.3.6.7. 関連研究結果と今後の課題

明るさに関する研究は路面以外に夜間の横断歩行者を意識しグレー布地についても実施した。その結果は路面の実験結果とほぼ同様な結果が得られている。また不快グレアに関する実験も実施し、S 錐体の分光感度も考慮した分光視感度 $V_k(\lambda)$ を導入することにより実験結果を定性的に説明できることが示されている。

明るさや不快グレアは中心視が最重要であるが、軸外れや有効視野、そして周辺視も含めて今後、光源の分光分布の影響に関する研究を進める必要があると考える。

(小林正自)

参考文献

- (1) 瀧田隆義ほか：3 波長帯系蛍光ランプの照明効果，照学誌，65-10，pp.56-63 (1981).
- (2) 納谷嘉信ほか：高演色性蛍光ランプの照明下での明るさ，照学誌，67-6，pp.34-39 (1983).
- (3) 照明学会・明るさ計量化研究調査委員会：明るさ測光システムの検討—明るさの計量化研究調査委員会報告書，JIER-018，平成 2 年 8 月，pp.1-17 (1990).
- (4) 色彩学会編・新編色彩科学ハンドブック【第 2 版】：pp.397-400 (1998).
- (5) CIE TC1.4: Light as a true visual quantity: Principles of measurement, CIE Pub. No.41, CIE Central Bureau (1978).
- (6) Guth S L, et al.: Heterochromatic additivity foveal spectral sensitivity, and new color model, J. Opt. Soc. Am., 63-4, pp.450-462 (1973).
- (7) Yaguchi H et al.: Subadditivity and super additivity in heterochromatic brightness matching, Vision Res., 23-12, pp.1711-1718 (1983).
- (8) Ware C. et al.: Specification of heterochromatic brightness matches: A conversion factor for calculating luminances of stimuli that are equal in brightness; NRC Publication, No.26055, National Research Council of Canada (1983).
- (9) Nakano Y, et al.: Contributions of the opponent mechanisms to brightness and nonlinear model, Vision Res., 28-7, pp.799-810 (1988).
- (10) Sivak M, et al.: LED Headlamps glare and color rendering, UMTRI-2003-39 (2003).
- (11) Bullough J D, et al.: An investigation of headlamp glare, intensity, spectrum & size, DOT HS 809672 (2003).
- (12) 橋本博ほか：高齢者に及ぼす LED 前照灯の眩しさに関する検討，平成 19 年 11 月，自動車技術会論文集，38-6 (2007).
- (13) 塚田由紀ほか：白色 LED の色温度によるグレアの変化，H19 照学全大，p.193 (2007).
- (14) 小林正自ほか：前照灯照明光源の分光分布が視対象の明るさに与える影響，照学誌，94-5，pp.275-282 (2010).

- (15) 大川正夫ほか:ヘッドライトの分光分布が路面の明るさ感に与える影響に関する研究, 自動車技術会予稿集, No.20095785 (2009).
- (16) 小林正自ほか:ヘッドランプ光源の分光分布が不快グレアに与える影響に関する研究, 自動車技術会予稿集, No.20105086 (2010).
- (17) Smith V C, et al.: Spectral sensitivity of the foveal cone photopigments between 400 and 500nm, Vision Res, 15, pp.161-171 (1975).
- (18) 高齢者・障害者配慮設計指針－視覚表示物－年代別相対輝度の求め方及び光の評価方法 (2004).

4. 青色照明環境における効果

前章まででは視対象としての青色がもたらす効果についての知見を紹介した。本章では青色を視環境を照らす照明光として使用した場合の効果をもとめる。4.1 節においては、青色照明環境に曝露された場合の生理的影響について、特にメラトニン分泌との関係についての既往研究をまとめている。4.2 節では青色照明環境における種々の物体の見えを考えるうえで必要な、照明光への順応と物体の色見えについての研究を紹介する。4.3 節では青色照明を用いた視環境における心理的効果について、屋内照明と屋外照明の事例とに分類しまとめている。4.4 節では青色照明環境において、視覚以外の心理量の変化について俯瞰した。

4.1. 生理的効果

青色照明光の作用に関する基礎的知見が多数報告され、その作用を実際の照明環境に応用することが検討されている。ここでは、光が生理指標に及ぼす作用の中で研究が進んでいるメラトニン分泌の抑制作用に関する知見を中心に、これまでに得られている基礎的知見を応用する際に必要となる知見について報告する。

4.1.1. メラトニン分泌が起こる光の強さ

メラトニン分泌抑制作用が起こる光の強さが分かると、その作用を応用する際の目安になると考えられる。しかし、メラトニン分泌の抑制作用の波長特性は、ヒトの明所視における標準分光視感効率 $V(\lambda)$ と異なることが以前から報告されており、詳細な研究によって、460 nm 付近にピーク感度を持つことが報告されている¹⁾²⁾。そのため、照度ではメラトニン分泌の抑制作用が起こる光の強さを適切に示すことができない。

図 4.1.1 は 460 nm の単色光による 90 分の光曝露をした時の光曝露前後のメラトニン分泌濃度が示されている。この実験では、 $3.1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ の放射照度による光曝露をすることで、光曝露前と比べて有意にメラトニン分泌が抑制された。460 nm の単色光による $3.1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ の光の強さは、照度で表すと 1.3 lx になり、このような低照度であってもメラトニン分泌が有意に抑制されることが示された。この実験では、散瞳剤を使っていたため、瞳孔が光の強さによって変化することなく、瞳孔の直径が $7.19 \pm 0.88 \text{ mm}$ (平均±標準偏差) だった。そのため、瞳孔収縮のある通常的环境下で、有意なメラトニン分泌の抑制を起こすには、1.3 lx より多くの光量が必要になると考えられる。

図 4.1.2 は、白色蛍光ランプによる 6.5 時間の光曝露をした時のメラトニン分泌位相シフト量とメラトニン分泌の抑制率を調べた実験結果である。この実験では、およそ 100 lx 程度の照度による光曝露で、メラトニン分泌の位相シフト量および、メラトニン分泌の抑制率が最小と最大の反応量の間の中間の反応量になった。この実験は、図 4.1.1 の実験とは光源、光曝露時間、指標 (メラトニン分泌の位相シフト)、光の強さを示す時のデータ処理の仕方、散瞳剤の使用の有無が異なっている。そのため、これらの違いに注意して、値を参

照する必要がある。

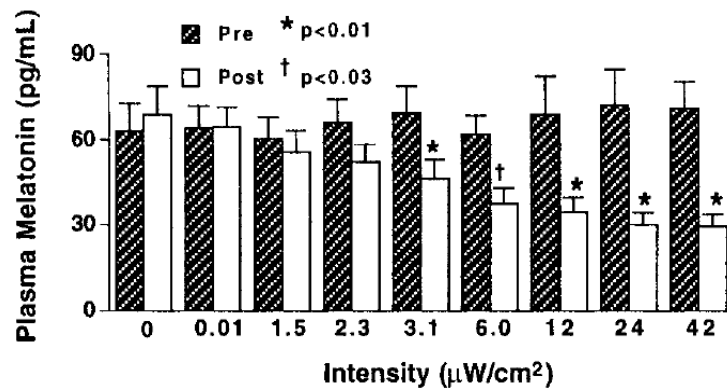


図 4.1.1 460 nm の単色光による 90 分の光曝露前後の血漿メラトニン濃度¹⁾。実験結果は、平均値+標準誤差で示した。3.1 μW/cm² 以上の放射照度の時に、光曝露前と比べて光曝露後の血漿メラトニン濃度が有意に抑制された。

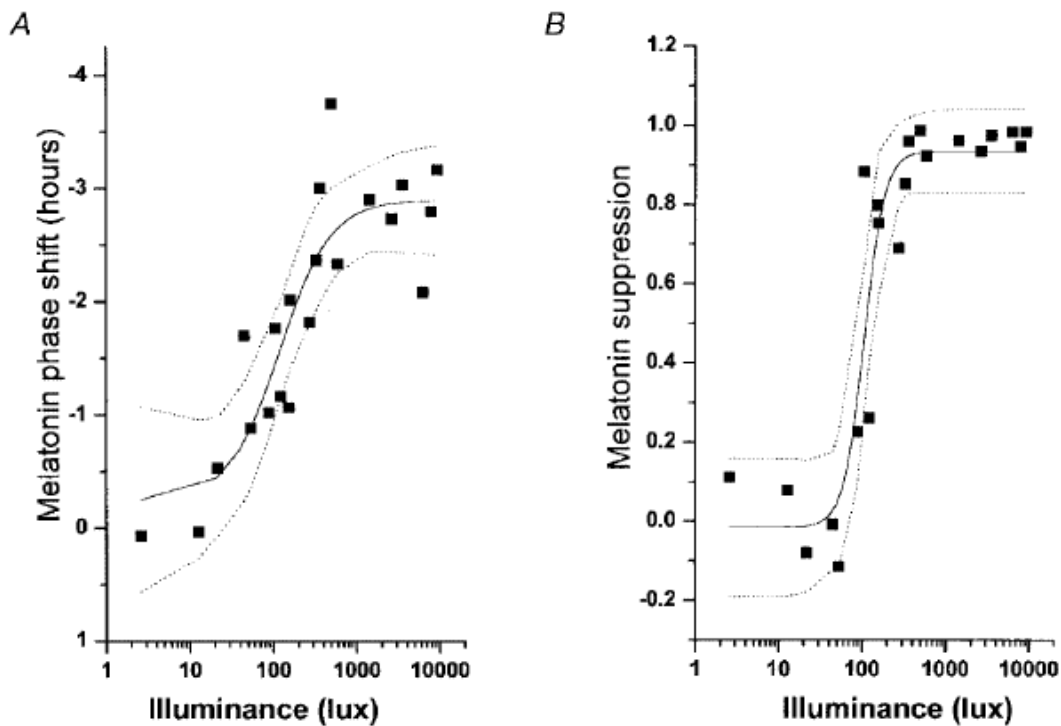


図 4.1.2 白色蛍光ランプによる 6.5 時間の光曝露をした時の照度とメラトニン分泌の位相シフト量 (A) およびメラトニン分泌の抑制率 (B) の関係³⁾。プロットが個々の被験者の実験結果, 実線が 4 パラメータのロジスティック曲線でフィットした結果, 点線が 95%信頼区間である。ロジスティック曲線の係数より, 最小と最大の反応量の中間の反応量を得るのに必要な照度は, メラトニン分泌の位相シフト量 (A) で 119 lx, メラトニン分泌の抑制率 (B) で 106 lx だった。

例えば, 図 4.1.2 の光の強さを示す時のデータ処理の仕方を図 4.1.1 の実験に適用すると, $2.41 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ の放射照度になり, 照度で表すと 1.01 lx になる⁴⁾. このように, 同じ実験であっても, データ処理の仕方が異なることで, 出てくる光の強さが異なる. そのため, 実験条件および, データ処理の仕方に注意を払う必要がある.

4.1.2. メラトニン分泌の抑制作用に関する作用スペクトルの適用可能範囲

2001 年に報告された 460 nm 付近にピーク感度があるメラトニン分泌の抑制作用に関する作用スペクトル¹⁾²⁾が, 様々な光源に適用可能かどうかを検証する必要がある.

メラトニン分泌の抑制作用を狭帯域の単一波長のみによる単色光¹⁾²⁾および, カラー蛍光灯による色光⁵⁾, 黒体軌跡近傍の色度をもつ白色光⁶⁾の各種光源で調べた実験では, いずれも短波長域の放射が多い光でメラトニン分泌が抑制されやすかった. このことから, 短波長域に感度を持つと報告されているメラトニン分泌の抑制作用の作用スペクトルの特性は, 光源の種類によらず, 大きく変わることはないと考えられる.

分光放射束 (W/nm) のような物理量 (放射量) に標準分光視感効率 $V(\lambda)$ を乗じ, 可視域にわたって積分することで, 光束 (lm) のようなヒトの特性を考慮した値である心理物理量 (測光量) が得られる. これを利用して, 標準分光視感効率 $V(\lambda)$ をメラトニン分泌抑制に関する感度特性に置き換えることで, 生理指標に影響を及ぼす光の強さを表す測光量を算出し, この感度特性の適用可能範囲を検証する研究が行われている⁷⁾⁸⁾. メラトニン分泌抑制の作用スペクトル¹⁾²⁾を使った測光量による比較⁷⁾では, 青色 LED の単色光と水銀

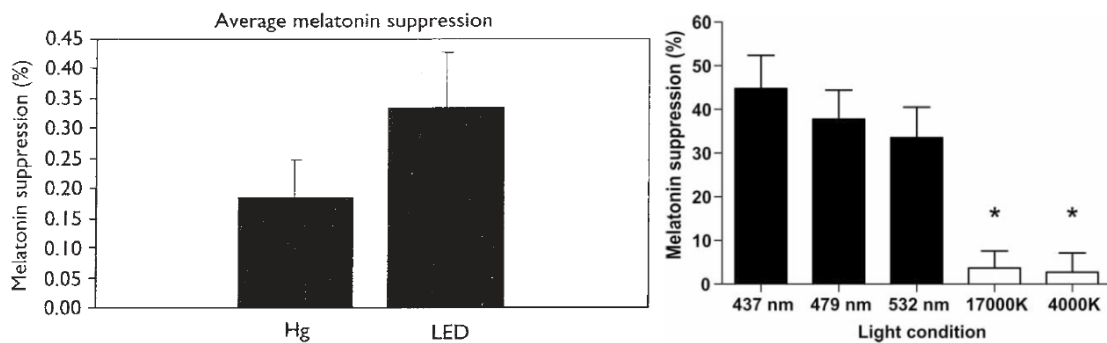


図 4.1.3 【左図】メラトニン分泌抑制作用の作用スペクトル ($\lambda_{\text{max}} : 460 \text{ nm}$ 付近)¹⁾²⁾を用いた照度に相当する測光量で光強度が設定されたメラトニン分泌抑制実験の実験結果⁷⁾. 実験結果は, 平均値+標準誤差で示した. 上記の測光量は, 水銀ランプ (Hg) は 1530 , 青色 LED (LED) は 740 だった. しかし, メラトニン分泌抑制率は, 青色 LED の方が水銀ランプより有意に大きかった.

【右図】視物質メラノプシンの分光吸収特性 ($\lambda_{\text{max}} : 480 \text{ nm}$ 付近)⁹⁾を用いた照度に相当する測光量で光強度が設定されたメラトニン分泌抑制実験の実験結果⁸⁾. 実験結果は, 平均値+標準誤差で示した. 上記の測光量は, 5種類の光条件間で統一した. メラトニン分泌抑制率は, 単色光と白色光の間で大きく異なった.

ランプの白色光が使われ、視物質メラノプシンの分光吸収特性⁹⁾を使った測光量による比較⁸⁾では、437 nm 光と 479 nm 光、532 nm 光の単色光と、4000 K と 17000 K の白色光が使われた。その結果、いずれの研究においても、測光量の値から予想されたメラトニン分泌抑制率にはならず、単色光でメラトニン抑制作用が大きく、白色光でメラトニン抑制作用が小さいという結果になった。

以上より、短波長域の分光放射がメラトニン分泌を抑制しやすいことには変わりがないとはいえ、その作用量の定量化に当たっては、光源の種類によって作用スペクトルの加法則（アブニーの法則）が成立しない恐れがあるため、このような問題が起こる光源の条件などを明らかにする必要がある。

4.1.3. メラトニン分泌の抑制作用の定量化

メラトニン分泌の抑制作用を数式モデル化し、この作用を応用するための試みが複数行われている。例えば、ドイツの暫定規格¹⁰⁾、アメリカの Lighting Research Center の提案¹¹⁾、高橋らの提案¹²⁾などがある。

(1) ドイツの暫定規格¹⁰⁾

メラトニン分泌抑制の作用スペクトル¹²⁾を利用して、光源の分光放射に対して、単位明るさあたりの予測作用量（相対値）を算出する¹⁰⁾。また、25 歳の被験者を基準にして、加齢による眼光学系の透過特性変化と縮瞳を加味する方法が併せて規定されている。この規格では、メラトニン分泌抑制の作用スペクトル¹²⁾を元に規格が作られており、他の光による生物学的反応（概日リズムの位相シフト／振幅変化、覚醒作用）についても説明可能と考えている。ただ、メラトニン分泌の抑制作用は、先に挙げた加法則が成立しない例が報告されていることから、メラトニン分泌抑制の作用スペクトル¹²⁾を考慮しただけでは、応用に際して問題が生じると考えられる。

(2) アメリカの Lighting Research Center (LRC) の提案¹¹⁾

LRC の研究グループは、メラトニン分泌の抑制率が先のメラトニン分泌抑制の作用スペクトル¹²⁾を使った測光量からは推定できないことを報告している⁷⁾。そこで、光源の S 錐体への刺激量と、M 錐体+L 錐体への刺激量を比較して、S 錐体への刺激量が大きい時と小さい時で、2 種類のメラトニン分泌抑制の作用スペクトルを使い分けることで、メラトニン分泌抑制率を算出する方法を提案している¹¹⁾。この提案は、光源の分光分布とその放射量の絶対値を入力することで、メラトニン分泌抑制率まで求めることができる利点がある。ただ、瞳孔収縮による網膜への到達光量変化は考慮されていないため、実環境へ適用する際には、その分を考慮する必要がある。

(3) 高橋らの提案¹²⁾

高橋らの提案¹²⁾は、まず、Brainard ら¹⁾の結果を元に、単色光曝露によるメラトニン分泌抑制率の算出式を作成し、次に、瞳孔収縮による網膜への到達光量変化の要素を考慮した。最後に、単色光を使った場合と比べて、広帯域光を使った時にメラトニン分泌抑制

率が小さくなる程度を数式化し、その入力として最も関連性が高い光受容器を推定し、広帯域光曝露時に作用スペクトルの加法則が成立しない作用を数式化した。高橋らの提案¹²⁾では、単色光でも広帯域光でも瞳孔収縮を考慮した場合のメラトニン分泌抑制率が算出できることが利点である。ただ、単色光曝露時の算出式と広帯域光曝露時の算出式を使い分ける方法が明確にされていない問題がある。

4.1.4. 他の生理指標(中枢神経系)への影響に関する知見との相似性

岩切ら¹³⁾は、天井に設置したカラー蛍光灯による色光(赤, 青)および、黒体軌跡近傍の色度をもつ白色光(3000 K, 7500 K)が、中枢神経系の指標に及ぼす作用について調べている。中枢神経系の指標として、事象関連電位の一つである随伴陰性変動(CNV)から主成分分析によって抽出したCNVの早期成分の平均振幅を求め、覚醒水準に及ぼす影響を報告している。実験の結果、CNVの早期成分の平均振幅は、赤色光が青色光より有意に高い値を示し、7500 Kの白色光が3000 Kの白色光より有意に高い値を示した。CNVの早期成分の平均振幅が大きいほど、高い覚醒水準を誘発すると考えられることから、赤色光は青色光より高い覚醒水準を誘発し、7500 Kの白色光は3000 Kの白色光より高い覚醒水準を誘発することが示された。岩切ら¹³⁾が得た結果は、中枢神経系の指標を用いた複数の研究においても同様の結果が得られている。例えば、色光を使った研究では、Ali¹⁴⁾、佐藤¹⁵⁾、Katsuuraら¹⁶⁾が同様の結果を報告しており、白色光を使った研究では、Deguchi and Sato¹⁷⁾、佐藤¹⁵⁾が同様の結果を報告している。

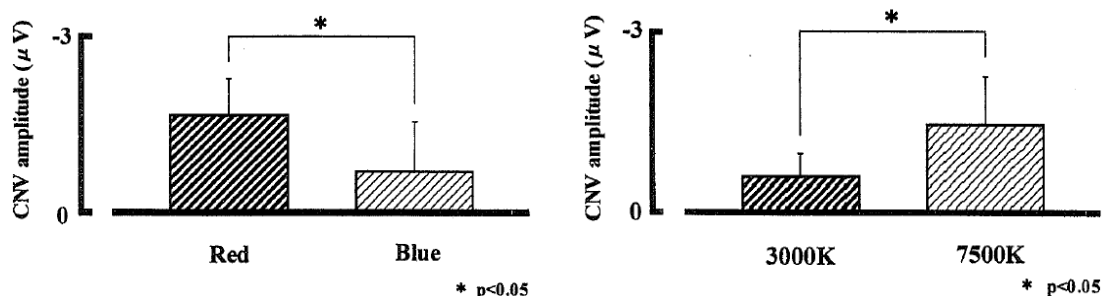


図 4.1.4 色光(赤, 青)と白色光(3000 Kと7500 K)が、CNVの早期成分の平均振幅に及ぼす影響に関する実験結果¹³⁾。実験結果は、平均値+標準偏差で示した。赤色光は青色光より有意にCNVの早期成分の平均振幅が大きく、7500 Kの白色光は3000 Kの白色光より有意にCNVの早期成分の平均振幅が大きかった。

メラトニン分泌の抑制作用に関する研究では、色光と白色光において、短波長域の放射が多い光の方がより大きな作用を引き起こすという特徴が共通していた。しかし、中枢神経系に関する研究では、色光と白色光において、この特徴が共通していなかった。以上より、光がメラトニン分泌を抑制する作用に関する知見が多く蓄積されているとはいえ、その知見が、光が他の生理指標に及ぼす作用を表しうるとは必ずしも言うことができない。

そのため、各種生理指標で得られた知見について、共通する知見、共通しない知見をまとめる必要があるだろう。(中枢神経系の指標に関する知見は3章でも記述されているため、参照していただきたい。)

(高橋良香)

参考文献

- (1) G. C. Brainard, J. P. Hanifin, J. M. Greeson, B. Byrne, G. Glickman, E. Gerner and M. D. Rollag : Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor, *J. Neurosci.*, 21-16, pp.6405-6412 (2001).
- (2) K. Thapan, J. Arendt and D. J. Skene : An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans, *J. Physiol.*, 535-1, pp.261-267 (2001).
- (3) J. M. Zeitzer, D. J. Dijk, R. Kronauer, E. Brown and C. A. Czeisler : Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression, *J. Physiol.*, 526-3, pp.695-702 (2000).
- (4) G. Glickman, R. Levin and G. C. Brainard : Ocular input for human melatonin regulation: relevance to breast cancer, *Neuro. Endocrinol. Lett.*, Suppl 2, pp.17-22 (2002).
- (5) T. Morita, Y. Teramoto and H. Tokura : Inhibitory effect of light of different wavelengths on the fall of core temperature during the nighttime, *Jpn. J. Physiol.*, 45-4, pp.667-671 (1995).
- (6) T. Morita and H. Tokura : Effects of lights of different color temperature on the nocturnal changes in core temperature and melatonin in humans, *Appl. Human Sci.*, 15-5, pp.243-246 (1996).
- (7) M. G. Figueiro, J. D. Bullough, R. H. Parsons and M. S. Rea : Preliminary evidence for spectral opponency in the suppression of melatonin by light in humans, *Neuroreport*, 15-2, pp.313-316 (2004).
- (8) V. L. Revell, D. C. Barrett, L. J. Schlangen and D. J. Skene : Predicting human nocturnal nonvisual responses to monochromatic and polychromatic light with a melanopsin photosensitivity function, *Chronobiol. Int.*, 27-9-10, pp.1762-1777 (2010).
- (9) D. M. Berson, F. A. Dunn and M. Takao : Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock, *Science*, 295-5557, pp.1070-1073 (2002).
- (10) DIN pre-standard: DIN-V-5031-100 :
<http://www.beuth.de/langanzeige/DIN-V-5031-100/en/118398668.html> (2012年2月確認)

- (11) M. S. Rea, M. G. Figueiro, A. Bierman and J. D. Bullough : Circadian light, *J. Circadian Rhythms*, 8-1 (2010).
- (12) 高橋良香, 勝浦哲夫, 下村義弘, 岩永光一 : 光曝露によるメラトニン分泌抑制率の推定, *照学誌*, 94-2, pp.124-134 (2010).
- (13) 岩切一幸, 綿貫茂喜, 安河内朗, 栃原裕 : 光源色がその曝露中と曝露後にCNVの早期成分に及ぼす影響, *日本生理人類学会誌*, 2-3, pp.139-145 (1997).
- (14) M. R. Ali : Pattern of EEG recovery under photic stimulation by light of different colors, *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 33-3, pp.332-335 (1972).
- (15) 佐藤方彦 : 快適な室内照明の研究 -室内気候の影響も含めて, *住宅総合研究財団研究年報*, 20, pp.305-316 (1993).
- (16) T. Katsuura, T. Yasuda, Y. Shimomura and K. Iwanaga : Effects of monochromatic light on time sense for short intervals, *J. Physiol. Anthropol.*, 26-2, pp.95-100 (2007).
- (17) T. Deguchi and M. Sato : The effect of color temperature of lighting sources on mental activity level, *Ann. Physiol. Anthropol.*, 11-1, pp.37-43 (1992).

4.2. 知覚的効果（色順応と色の見え）

人は照明光が変化しても、その照明光に慣れる性質を持っている。例えば照明光が白色光から鮮やかな赤色光に変化した時、最初は鮮やかに感じるが、だんだん薄れていくように感じられる。これは色順応によって引き起こされる現象である。人は色順応により照明光の変化に応じて感度を補正するため、感度補正が可能な光色の範囲内で順応に十分な時間があれば、照明光の色の見えを白色光と大差なく知覚する。物体の色の見えも、有彩色照明光に照らされたとしても、色順応により白色光に照らされたときの物体の色の見えと大差なく知覚する。これを色の恒常性（色恒常性）¹⁾ という。ただし、物体色に対する恒常性には「見かけの色」である **apparent color** と「表面の属性の色として認識される色」である **surface color** の 2 種類の色知覚に対する色恒常性がある^{2) 3)}。 **apparent color** に対する色恒常性は色順応により説明できるが、 **surface color** に対する色恒常性は色順応だけではなく、光色や複数の物体色の見かけの色に対する相対的な認識を伴う。そのため、 **surface color** に対する色恒常性は **apparent color** に対する色恒常性よりも成立しやすい。

日常生活においては照明光が変化しても、安定した物の色の見え方をすることが重要であり、照明光の下での見かけの色（**apparent color**）は自然光の下での見かけの色と同じ見えであることが望ましい。少なくとも、色恒常性の範囲内で色認識（**surface color**）が変化することは避けるべきである。

色恒常性が成立するためには、照明光の分光分布が十分に広帯域であることが必要である。色みの強い単色光など、分光分布がごく限られた狭い範囲しかない場合には色恒常性は成立しない¹⁾。さらに物体が照らされている照明光の認識が生じることが重要で、そのためには観察する空間に多様な色彩が存在することが必要である。

種々の照明光下における色順応を考慮に入れた色の見え方は、CIE 色順応式（1994 年、納谷らの提案による）⁴⁾ や色の見えモデル CIECAM02⁵⁾ により予測できる。CIE 色順応式は有彩色照明光下における色の見えを予測可能とすることを目的として、後述する Helson-Judd 効果⁶⁾ や McCann ら⁷⁾ の実験データを用いて検証を行い、これらのデータを良く予測した^{4) 8)}。一方、色の見えモデル CIECAM02 は現在のところ有彩色照明光を適用範囲としていない。CIECAM 02 改良前の CIECAM97s において McCann らのデータを用いて検証を行ったが、予測精度が下がる結果となった⁹⁾。CIECAM97s から CIECAM02 への改良後もその適用範囲が特に広がってはいないことから、CIECAM02 においても予測精度が低いと考えられる。

色順応には、経時変化過程と、十分に時間が経過した後の安定状態がある。滞在空間の照明光が瞬時に変化した場合、光や物の見え方は瞬時ではなく徐々に変化する。さらに照明光の下に長時間滞在すると、色順応が完遂し、光や物の見え方が安定した状態となる。これは人の視覚の順応が瞬時に完遂するのではなく、一定の時間を有することに起因すると考えられる。

種々の照明光下での色順応が安定状態における物の色の見えについて実験的に検討した研究は、これまでに数多く報告されている。その全てを網羅するのは不可能であるため、ここでは有彩色照明光を用いた検討^{2) 6) 7) 12)}と、黒体軌跡近傍の高色温度の照明光¹¹⁾を用いた検討をいくつか紹介する。

有彩色照明光下において「無彩色反射物体の見ための色が明度によって異なる」現象は Helson-Judd 効果^{6) 10)}として知られている。Helson は、光色が赤、黄、緑、青で高彩度の有彩色照明光に充分順応した後の、種々の明度の無彩色色票の見え方を検討した。照明光は、色温度 2850K の白熱ランプにカラーフィルタを装着して設定している。図 4.2.1 に、高彩度の青色光に照明された室内で充分 (15 分間) 順応し、無彩色背景 (反射率 23%, 図 4.2.1 の明度 5 に相当) で種々の無彩色色票を観測した結果を示す。無彩色色票はその明度が 5 よりも高いとき青色に見え、明度が 5 よりも低いとき青色の補色の黄色に見える。すなわち、無彩色色票の明度が無彩色背景の明度と一致する条件以外では色認識 (surface color) に対する色恒常性は成立せず、無彩色背景の明度に対する無彩色色票の明度の高低によって、見かけの色 (apparent color) の色相が異なることが明らかとなった。

有彩色照明光下における種々の有彩色色票の色認識 (surface color) については、McCann らが両眼隔壁法を用いて、種々の有彩色照明光下のモンドリアン図形の各領域 (17 色と灰色背景) の色紙と同じに見える色を、白色照明光下の Munsell Book の色票から選択させる実験を行い、検討している⁷⁾。実験に使用した有彩色照明光は、白、緑、ピンク 1、ピンク 2、紫の 5 種類である。モンドリアン図形の領域のうち白色光下では灰色領域、緑色光下では赤色領域、…と、各照明光下における特定の領域からの反射光が全て同じ三刺激値となるように、照明光を設定した。各照明光は 3 つのプロジェクトーに、異なるピーク波長 (450, 530, 630 nm)

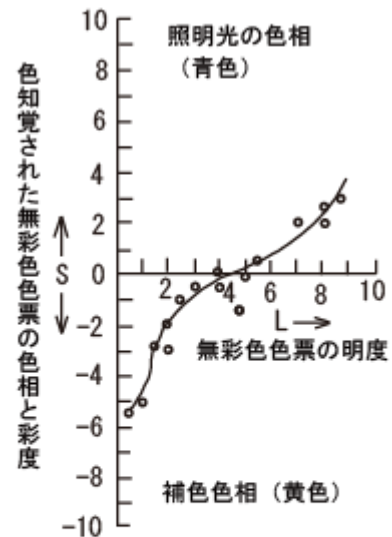


図 4.2.1 灰色背景における無彩色色票の明度と彩度との関係 (Helson⁶⁾, J.Exper.Psychol., 23, 1938 年より引用)

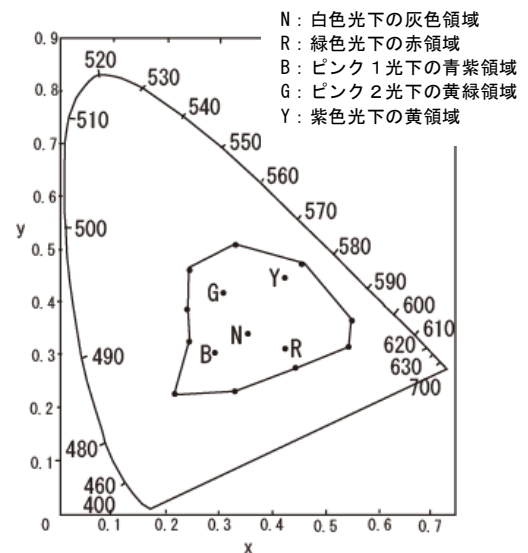


図 4.2.2 各照明光下における特定領域の色と同じに見える、白色照明光下における色票の色度 (McCann⁷⁾, Vision Res., 16, 1976 年より引用)

を持つ狭帯域の干渉フィルタを装着し、光源の出力を変化させて混合することにより実現している。その結果、同じ三刺激値であっても、異なる色の色票が選択された。選択された色は図 4.2.2 のように白色光下の各領域の色の見え方に近く、この照明条件下では色認識 (surface color) に対する色恒常性がおおよそ成立することを示した。

栗木らは、見えの判断基準を見ための色 (apparent color) と色認識 (surface color) とに分けて、種々の照明光下における色の見えを検討した^{2) 11) 12)}。

照明光の相関色温度による違いについては、両眼隔壁法を用いて、相関色温度の異なる種々の照明光下でのテスト刺激 (色票) の見えを、apparent color と surface color のそれぞれの判断基準に基づいて D₆₅ 照明光下でのテスト刺激の見えとして被験者に CRT 上で再現させる実験を行った²⁾。照明光の相関色温度は、1000 K, 1700 K, 2400 K, 3400 K, 6000 K, 30000 K の 6 種類である。テスト刺激は色温度変換フィルタを通した 2 台のスライドプロジェクターによってスポット照明されている。照明光に充分 (15 分間) 順応させた実験では、相関色温度 1700 K, 2400 K の条件では surface color について色恒常性は得られるものの、apparent color については色恒常性が成立しなかった。一方、相関色温度 3400 K から 30000 K の範囲では apparent color, surface color とともにほぼ同等の色恒常性が成立した。黒体軌跡近傍の青色光の成分を多く含む照明光では見かけの色 (apparent color) と色認識 (surface color) とが一致する。

比較的彩度の高い有彩色照明光については、被験者に種々の照明光下に充分 (5 分間) 順応させ、apparent color と surface color のそれぞれの判断基準に基づいてユニーク白色をマッチングさせる実験を行うことにより、照明光の色度変化に伴う視覚系の感度変化を検討している^{11) 12)}。実験は観測者を照明光に照らされた空間に没入させた状態で行った。天井の照明光は D₆₅ 近似蛍光ランプと青、オレンジ、緑、紫のカラーフィルタを組み合わせ、照度を一定に保ったまま、色度を白色 D₆₅ からフィルタによって作られる最大色度の間で設定した。その結果、白色付近の照明光に対しては視覚系の感度変化が追従して、apparent color, surface color とともに色恒常性が成立した。一方、比較的彩度の高い有彩色照明光に対しては感度変化は追従せず、surface color は色恒常性が成立するが、apparent color は色恒常性が成立しないことが明らかとなった。

色順応の経時変化過程における光の色の見えについて、原らは照明光が白色 (昼光色及び電球色) から数種の有彩色へと瞬時に変化した場合、およびその逆に有彩色から白色へと変化した場合の、室空間における光の色の見え方 (見かけの色 apparent color) の経時変化及び定常順応に要する時間を検討している¹³⁾。外光を遮光し、天井がほぼ一様に発光する室において、照明光を白色、有彩色、白色、有彩色、・・・と順に変化させ、変化直後を基準として指定した時刻 (0~最大 480 秒後) における照明光の色の見え方をカラースケーリング法によって被験者に評価させた。照明光の照度は一定とし、光色は図 4.2.3 の色度を有する 9 色とした。白色照明光 D と各有彩色照明光間、白色照明光 K と各有彩色

照明光間を変化させた。いずれの照明光も天井の乳白パネル発光面内部に設置された赤、緑、青の蛍光ランプの出力を変化させて設定した。

図 4.2.4 に、有彩色照明光を R, G, B, 電球色 K, 白色照明光を昼光色 D とし、両者間変化時の照明光の色見えの経時変化を rg-yb 応答平面上に示す。有彩色照明光が B (青色光) の場合、白色光 D から有彩色光 B への変化時には yb 応答が負に変位し、その後 0 に近づく方向に推移している。しかし完全に yb 応答が 0 になるのではなく、480 秒後でも b が -4 程度の

応答が残存している。有彩色光 B から白色光 D への変化時には逆に yb 応答が正に大きく変位し、その後 yb 応答が 0 に近づく方向に推移し、300 秒後には、白色光が昼光色であるために、yb 応答は b が -0.3 程度の若干青みのある色見え方となる。これより、青色光から白色光 (昼光色) への順応は、300 秒で色見え方がほぼ安定して完遂するが、白色光 (昼光色) から青色光への順応は 480 秒後でも若干変化しており順応を完遂するには 480 秒以上必要である。また照明光の色が鮮やかであるほど、順応が安定するまでに必要な時間が長くなるかとしている。

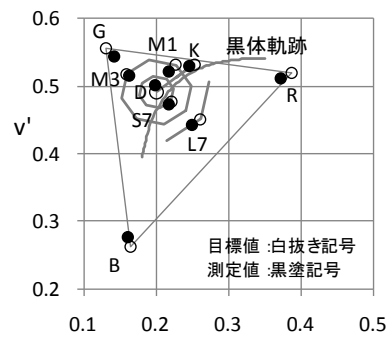


図 4.2.3 有彩色照明光の色度 (原ら¹³⁾, 照明学会誌 94(2), 2009 年より引用)

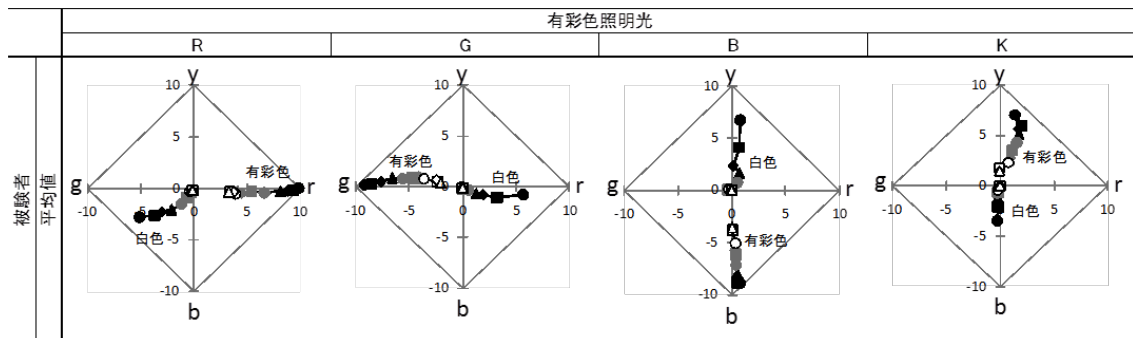


図 4.2.4 有彩色と昼光色の照明光間の瞬時変化時の色見え方の経時変化

(原ら¹³⁾, 照明学会誌 94(2), 2009 年より引用)

以上の結果から、高彩度の青色照明光下では色順応が安定状態において色認識に対する色恒常性は成立するが、見かけの色に対する色恒常性は成立しないこと、また色順応による光色の経時変化過程については、照明光が青色光から白色光へ変化した場合、光の色見えは黄色側にシフトし、定常順応に必要な時間が長くなることがわかった。しかし、他の有彩色照明光と比較すると、白色光へ変化した後の光の色は、黒体軌跡上の低色温度光に近い見えを有しており違和感が少ない。

これまでの多くの研究は、照明光の分布が均一である場での色順応や、その下での物や光の色見えを扱っている。しかし、実際の照明環境では、照明方式が多灯分散である場

合や、夜間に屋外照明下で屋内の照明を見た場合など、視野内に複数の光色の照明が分散し、混在することがある。異なる光色の照明が同時に視野に入ること、さらに色恒常性が保てず、物や光の色がより鮮やかに見えることも考えられる。今後は、視野内に複数の異なる照明光が混在し、照明の分布が不均一な場における色順応をも考慮して色の見えを検討する必要がある。

(神農悠聖)

参考文献

- (1) 大山, 今井, 和氣, 菊地: 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック Part2, 「1.5 色の恒常性」, pp.183-187(2007)
- (2) 栗木, 内川: 色恒常性の二つの段階: 完全色恒常性と部分的色恒常性, 照学誌 81 (2), pp.125-135 (1997)
- (3) 中内, 内田, 臼井: 色恒常性における照明光及び反射率変化の識別特性, 電子情報通信学会論文誌 A Vol.J82-A No.1, pp.168-178 (1999)
- (4) L. Mori, H. Sobagaki, H.Komatsubara, and K. Ikeda: Field Trials on CIE Chromatic Adaptation Formula, CIE Proceedings 22nd Session Melbourne 1991 Division1, pp.55-58(1991)
- (5) CIE: A colour appearance model for colour management systems CIECAM02, CIE Publ. No.159 (2004)
- (6) H.Helson: Fundamental Problems in color vision, I, The Principle Governing Changes in Hue, Saturation, and Lightness of Non-selective Samples in Chromatic Illumination, J.Exper.Psychol., 23, pp.439-476(1938)
- (7) McCann, J.J., McKee, S.P., Taylor, T.H. Quantitative studies in retinex theory: A comparison between theoretical predictions and observer responses to the "Color Mondrian" experiments. Vision Res., 16: pp.445-458 (1976) .
- (8) 高浜, 側垣, 納谷: 複雑視野における物体色の見えの色の予測, 日本色彩学会誌 12(1), pp.6-7(1988)
- (9) R.W.G.Hunt: The Reproduction of colour Six Edition, pp.612-626 (2004)
- (10) 矢野: 見え方の色色, 照学誌 91(10), pp.638-644(2007)
- (11) 栗木, 内川: 瞬時色恒常性における周辺刺激と色の見えの判断基準の効果, 照学誌 79 (2), pp.39-49 (1995)
- (12) I. Kuriki, and K. Uchikawa: "Adaptive Shift of Visual Sensitivity Balance under Ambient Illuminant Change", J. Opt. Soc. Am. A, 15(9), pp.2263-2274(1998)
- (13) 原, 神農, 岡嶋: 有彩色と白色の照明光間の色変化時における定常順応のための所要時間, 照学誌 94(2), pp.86-91 (2010)

4.3. 視覚心理に与える効果

青色照明光を実空間の環境を照らす光として応用する場合において、これまでに報告されている視覚心理に与える影響についての知見を紹介する。以下では照明光を利用する環境として、屋内環境と屋外環境に分類し、それぞれの環境における効果をまとめた。

4.3.1. 屋内照明環境における効果

照明光の色と室内環境の印象との関係性を評価した研究は多くみられるが、その多くは相関色温度の違いによる影響を検討するものである。一方、井上らは黒体放射軌跡から遠く離れた青色光の影響を検討している。ここでは、まず井上らの研究結果から青色光が室内環境の印象に与える影響を紹介し、次に相関色温度の高い照明環境における印象評価の研究事例から、相対的に青色光成分が増えることによる影響を検討する。

井上らは、室内において有彩色光照明 5 条件について、視覚および心理・生理的影響について検討を行っている¹⁾²⁾。被験者は、計測装置を装着後、35 lx の白色光に 10 分間順応した後、1.0 lx の色光に 60 分間曝露される。被験者は安静椅子座位で、曝露開始 10 分前、曝露直後、曝露 60 分後に SD 法による 17 対 7 段階の印象評価ならびに 25 対 7 段階の疲労

表 4.3.1 有彩色光照明の生理・心理影響に関する実験条件と生理量に関する実験結果⁶⁾⁷⁾

	実験条件	実験結果	
光源	蛍光ランプ		
光色	青、緑、黄、赤、白		
設定照度	1.0lx、1,200lx		
被験者	女子大学生 8 名		
測定・評価項目	皮膚温	光色の影響なし。	
	血圧	赤光は 1.0 lx で他色に比べ興奮しやすい。 青・緑光は鎮静に作用する傾向がある。	
	心拍数	1.0 lx で黄光がやや低い。1,200 lx で緑光がやや低い。 有意差はなし。	
	心拍 R-R 間隔	黄光と緑光で LF/HF が低く、緊張や興奮しにくい傾向あり。	
	脳波	1.0 lx で緑光が α 波の出現率が高く、1,200 lx で黄光の α 波出現率が低い場合が多かったが、有意差はなし。	
	瞬目数	光色の影響なし。	
	唾液ホルモン	アミラーゼ	緑光で低い（ストレスが小さい）傾向があるが、有意差なし。
		コルチゾル	1.0 lx で赤光が高く、緑光が低い。 1,200 lx で緑光が低い。有意差はなし。
	印象評価	図 4-1-1	
	疲労感評価	図 4-1-2	

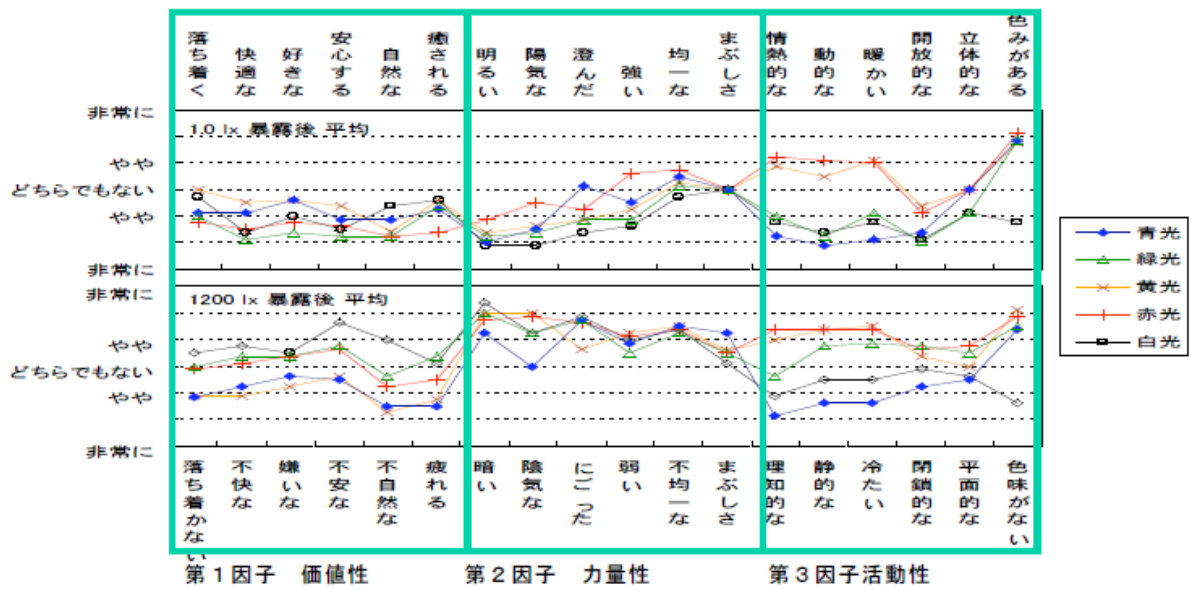


図 4.3.1 有彩色光曝露 60 分後の印象評価⁷⁾

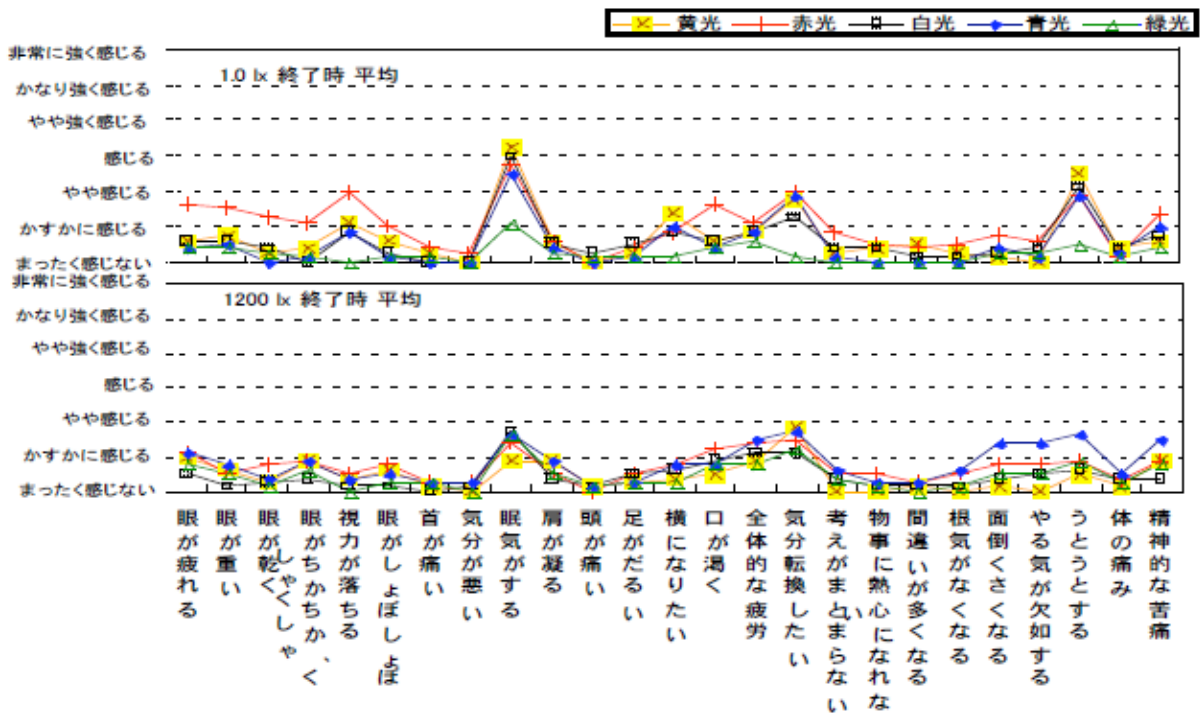


図 4.3.2 有彩色光曝露 60 分後の疲労感評価⁷⁾

評価を行った。引き続き、10 分間の休憩をはさんで、同条件の色光 1,200 lx の実験を行った。表 3 に実験条件ならびに生理量測定項目の結果を示す。

図 4.3.1 に印象評価，図 4.3.2 に疲労評価の結果を示す。因子分析の結果から「価値性」「力量性」「活動性」の 3 つの因子が抽出され、青色光については、「価値性」「活動性」の

評価が特に 1,200 lx の条件で低くなっている。疲労評価についても、特に 1,200 lx の条件で「精神的な疲労感」「目の疲労感」が高くなっている。室内照明として青色光を用いる場合には、特に高照度の場合に心理面での課題が多い。

(望月悦子)

一方相関色温度の違いが室内の印象に与える影響について、もっとも代表的なものは Kruithof のもの³⁾であろう。Kruithof は光源の色温度によって快適な照度の上限および下限が変化することを実験データから示した。これによると低色温度の室内では、低照度にすることで暖かく落ち着いた印象になり、高色温度の室内では、高照度にしなければ陰気な印象になるとしている。ただしこの実験において使用された光源は、低色温度光には電球、高色温度光には演色性の低い蛍光ランプであり、色温度の違い以外の要因による影響を排除できていない。

この問題に対して中村ら⁴⁾は 3 波長発光型の蛍光ランプを用いることで、演色性を等しくし、住宅居間における「だんらん」と「くつろぎ」に最適な相関色温度と照度の関係について検討した。中村らの実験結果と Kruithof の結果を比較したグラフを図 4.3.3 に示す。左が「だんらん」を想定した場合の結果、右が「くつろぎ」を想定した場合の結果である。全体的に低色温度を好む傾向にあり、また Kruithof による快適領域の中と外で肯定的評価と否定的評価に分かれることから、Kruithof の結果は概ね正しいと考えることができる。

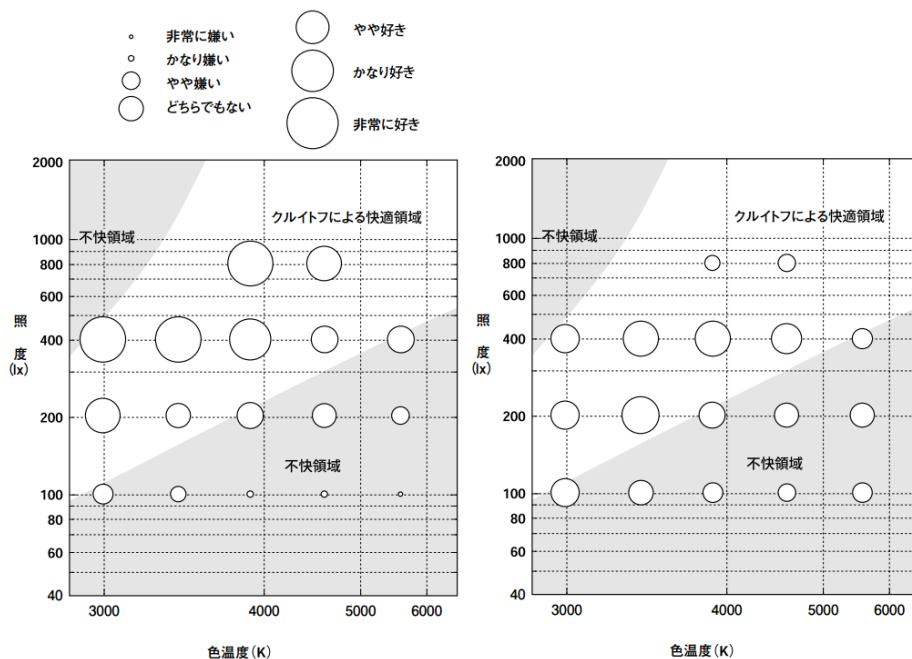


図 4.3.3 色温度・机上面照度と好ましさの関係 (Kruithof の結果との比較). 左: だんらんの場合. 右: くつろぎの場合. (中村ら⁴⁾, 照学誌 81-8A より引用)

しかし特定の範囲においては Kruithof の結果が成立しないことも報告されており，この結果の適用範囲についてはさらなる検討が必要であるといえる。

また相関色温度と照度が室内の印象に与える影響を SD 法により検討した研究も⁵⁾⁶⁾ある。湯尻⁵⁾は 2700 K～6500 K の相関色温度のランプを用い，床面照度を 20～500 lx に変化させた場合の住宅居間の印象評価を行った。因子分析の結果，第一因子には明るさ，第二因子に暖かさで構成された。第二因子の暖かさは色温度による影響がほとんどであり，色温度が低いほど暖かさが増している。また第一因子の明るさに与える影響を検討すると，照度が高い場合には，高色温度環境のほうが低色温度環境に比べて明るさ感が高くなるが，照度が低い場合には，その差が見られなくなると報告している。この現象については，占部ら⁷⁾，山口ら⁸⁾も同様の傾向がみられたと報告しており，以下に占部らの結果を示す。

占部らは約 6 畳の 2 空間を隣接させ，照明光の相関色温度が異なることで空間の明るさ感がどのように違うのかを一対比較法により検証した結果が図 4.3.4 である。床面照度が 30 lx から 500 lx へと高くなるに従い，空間の明るさ感が高く評価される照明光の相関色温度が高くなることを示した。

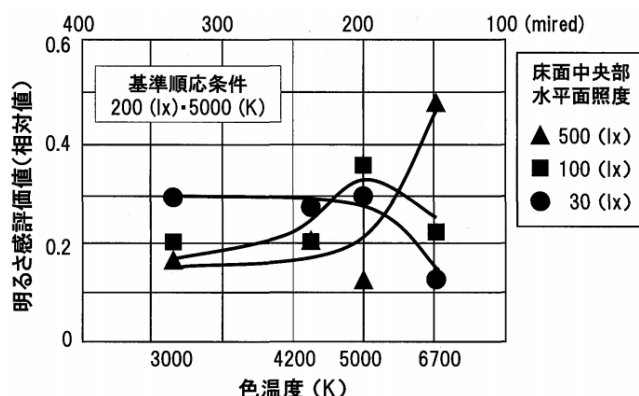


図 4.3.4 光源の相関色温度が空間の明るさ感に与える影響。(岩井⁹⁾，照学誌 91-10 より引用)

(山口秀樹)

4.3.2. 屋外照明環境における効果

2005 年 5 月に，スコットランドで街路灯を青色の高輝度放電ランプに交換したことで犯罪数が減少したとの報道がなされたことに端を発し，有彩色光の利用が普及しつつある¹⁰⁾。青色光の防犯に対する定量的な効果は検証されてはいないが，日本でも街路灯に青色光を用いた例がいくつかある。防犯照明の要件としては，

- ①もの・人・場所を認識しやすいようにすること
- ②犯罪者に他人からよく見えているという恐れを抱かせて犯罪を阻止すること
- ③歩行者の安心感を高めること

④非常ブザーなどの防犯システムのありかを示すこととされているが¹¹⁾、これらの要件にはいずれも視認性や照明光による心理効果が大きく影響する。

明石らは、夜間街路照明に分光分布の異なる蛍光ランプ、LEDを用いて、空間の明るさ感に与える影響を検証している¹²⁾¹³⁾。評価実験は実際の道路にて、表 4.3.2 に示す条件で行っている。

表 4.3.2 分光分布の異なる防犯照明による明るさ感に関する明石らの実験条件¹²⁾¹³⁾

	色温度の異なる蛍光ランプの比較実験 ¹²⁾	蛍光ランプとLEDの比較実験 ¹³⁾
光源	蛍光ランプ (20W)	蛍光ランプ (20W), LED
相関色温度	基準光源: 5,000 K テスト光源: 3,000 K, 12,000 K	蛍光ランプ: 4,200 K (20W) LED: 5,000 K, 8,000 K
評価視標	ポスター, 写真, 24色の色票	マネキン, ポスター, 風景写真, 色票
評価方法	基準光源 vs テスト光源 空間の明るさ, 色の見えなど9項目	LED 8,000 K vs 蛍光ランプ 4,200 K LED 8,000 K vs LED 5,000 K
被験者	学生 16名	大学生 24名 社会人 19名

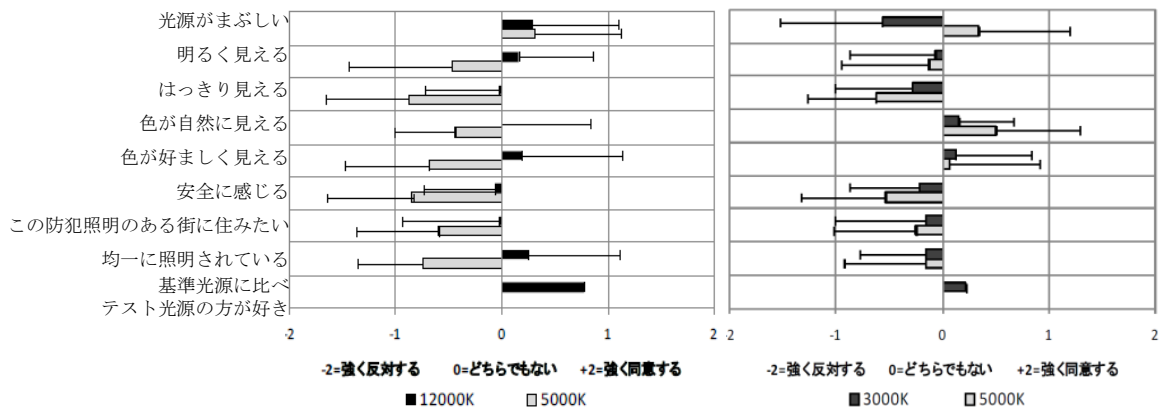


図 4.3.5 5,000 K の蛍光ランプと比較した 12,000 K・3,000 K 蛍光ランプの評価¹²⁾

図 4.3.5 に示すように、相関色温度 12,000 K の蛍光ランプの場合に、明るさ、色の好ましさが最も高く評価されていることがわかる。また図 4.1.6 から、相関色温度の高い 8,000 K の LED の方が、4,200 K の蛍光ランプ、5,000 K の LED よりも、光源のまぶしさ以外ほぼ全ての評価項目で高い評価となっていることがわかる。

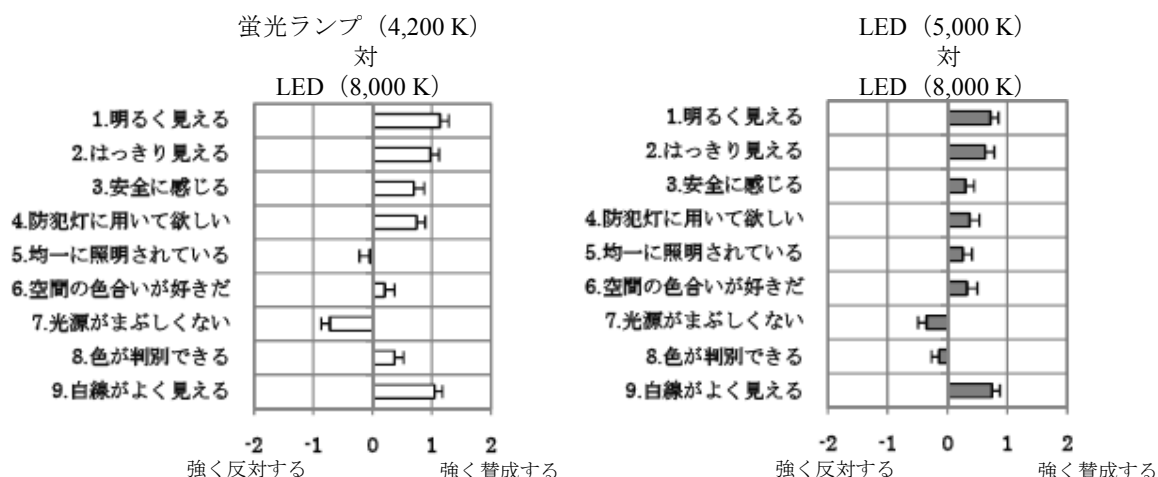


図 4.1.6 8,000 K LED と 4,200 K 蛍光ランプ, 5,000 K LED の比較¹³⁾

夜間屋外照明における光色の影響として、安心感、明るさ感、快適性、人の顔の認知について評価した研究事例もある。C. Knight¹⁴⁾は、オランダ、スペイン、イギリスにおける3つの住宅街にて、実験対象区域のランプを交換し、近隣の住民を対象に評価実験ならびにヒアリング調査を実施している。実験条件は表 4.3.3 に示す通りである。

表 4.3.3 C. Knight によるオランダ、スペイン、イギリスの住宅街街路照明の実験条件¹⁴⁾

	オランダ	スペイン	イギリス
光源	基準光: 高圧ナトリウムランプ (HPS) テスト光: メタルハライドランプ (MH)		
相関色温度	高圧ナトリウムランプ: 2,000 K メタルハライドランプ: 2,800 K, 4,200 K		
評価対象	顔写真		
被験者	HPS→MH: 55 名 MH→HPS: 56 名	HPS→MH: 60 名 MH→HPS: 60 名	基準 HPS vs MH 2800K : 30 名 基準 HPS vs MH 4200K : 33 名 基準 MH 2800K vs HPS : 31 名 基準 MH 4200K vs MH 2800K : 31 名

実験区域の街路灯を基準光 (HPS) →テスト光 (MH), テスト光 (MH) →基準光 (HPS) に交換し、近隣住民に明るさ感、安心感、快適性について5段階で評価させ、交換前後での評価を比較している。また写真による顔認識評価を行っている。

快適性・安心感・明るさ感については、高圧ナトリウムランプからメタルハライドランプに交換することで向上している ($p < 0.05$)。地域差については、スペインとイギリスの間

で有意差はなかったが、オランダはスペイン・イギリスに比べ有意に明るさ感、安心感の評価が低かった。顔認識についても白色光の方が黄色光よりも、視認性、詳細部分の把握が向上する傾向が見られたが、全実験場所で一貫した結果は得られていない。

以上の研究結果を鑑みると、夜間屋外街路照明に高色温度光を用いることで、明るさ感や視認性が向上することが期待される。

(望月悦子)

参考文献

- (1) 井上容子: 有彩色光照明が視認性と雰囲気及ぼす影響, 照学誌, 92-9, pp. 637-644, (2008)
- (2) 久保博子, 井上容子: 有彩色光照明の生理的・心理的影響, 照学誌, 92-9, pp. 645-649, (2008)
- (3) Kruihof, A.A.: Tubular luminescence lamps for general illumination, Philips Tech. Rev., 6, pp.65-96 (1941)
- (4) 中村肇, 唐沢宣典: 照度・色温度と雰囲気の好ましさの関係, 照学誌, 81-8A, pp.687-694 (1997)
- (5) 湯尻照: 照度, 色温度, 演色評価数が視環境評価に及ぼす影響: 照学誌, 70-2, pp.80-83, (1986)
- (6) 宮本雅子, 梁瀬度子: 蛍光ランプの色温度・演色性が室内雰囲気に及ぼす影響, 照学誌, 81-2, pp.107-115 (1997)
- (7) 占部有紀, 岩井彌, 阪口敏彦: 光源の色温度が室内空間の明るさ感に与える影響 (1) 外部から一対同時比較した時の明るさ感評価, 照学全大, p.163 (1995)
- (8) 山口秀樹, 山本周平, 篠田博之: 照明光色温度の違いが空間の明るさ感に与える影響 -色モード境界輝度による検討-, 照学全大, p.172 (2009)
- (9) 岩井彌: 明るさの色色, 照学誌, 91-10, pp.645-650 (2007)
- (10) 須谷修治: 青色防犯灯の導入背景と全国実態調査報告, 照学誌, 92-9, pp. 631-636, (2008)
- (11) 高橋さえり, 明石行生: 青色照明および白色照明下の街路の評価, 日本建築学会大会 学術講演梗概集, D-1 分冊, pp.533-534 (2008)
- (12) 白倉公隆, 明石行生, 斎藤孝, 松井隆佳: 防犯照明の分光分布の違いが空間の明るさ感に及ぼす影響, 照学全大, p.152 (2010)
- (13) 明石行生, 白倉公隆, 斎藤孝: 防犯照明の分光特性が空間の明るさに及ぼす影響, 照学全大, pp.185-186 (2011)
- (14) Knight, C: Field Surveys of the Effect of Lamp Spectrum on the Perception of Safety and Comfort at Night, Lighting Research & Technology, Vol. 42, pp.313-329 (2010)

4.4. 非視覚的感覚に与える効果

青色照明光が視覚以外の感覚に及ぼす影響について検討した研究から明らかになったことを以下にまとめる。有彩色光としての青色照明光を用いた検討と、黒体軌跡に近い領域で相関色温度を変化させた検討がある。高色温度で青みがかった白色照明光を、青色照明光と同様に扱うことはできないが、光色による相対的な傾向を把握する手がかりの1つとして紹介する。

4.4.1. 音の評価に与える効果

戸井田ら¹⁾によって、実験室内で音と色光を組み合わせられて被験者に提示し、心理評価における複合効果が検討された。実験室内に、色光を投影するためのスクリーンを設置し、視線と垂直に色光を投影した。色光はオレンジ、ブルー、ホワイト、グリーン、イエローの5条件であった。色光の提示と同時にスピーカーから音を提示した。音の種類は、雑踏、交通騒音、列車走行音、小鳥のさえずり、ホワイトノイズの5条件で、それぞれ現地で録音された音量での提示と、その音量から5 dB減じた音量での提示の2条件であった。提示時間は、30秒間の音を60秒間のインターバルをはさんで2回の計60秒間であった。実験は、これら計50条件を1日で提示して21対の評価尺度で評価させ、これを4日反復した。被験者総数は22名であった。実験に用いた光色の色度を図4.4.1に示す。

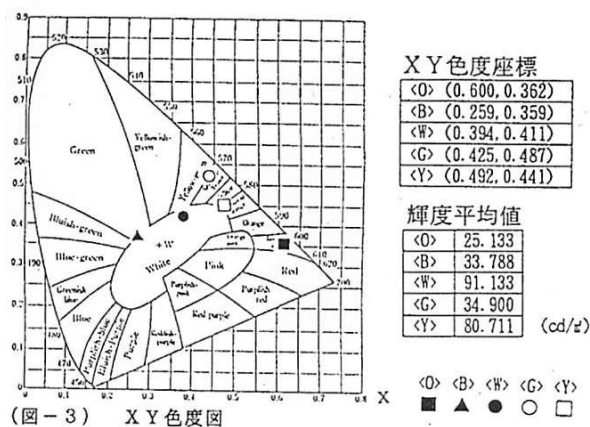


図 4.4.1 実験に用いた光源の色度 (参考文献(1)から引用)

実験の結果、21対の評価尺度に対して、「調和のとれた」「寂しい」「開放的な」「しっとりした」「迫力のある」「暖かな」をそれぞれ代表的な尺度とする6因子が析出された。5種類の光色のうち、白色光と青色光では肯定的評価となることが多く、オレンジ光とグリーン光では否定的評価となった。この傾向は音量を5 dB減じた条件でさらに顕著になった。これらの結果から、色光との組み合わせによって印象が変化することが明らかとなり、交通騒音や列車走行音など不快な音源がある場合、白色光または青色光を利用することで音による不快評価を低減できる可能性が示唆された。ただし図4.4.2に示す雑踏の音に対する評価プロファイルのように、白色光と青色光を比較すると、青色光のほうが「冷たい」

「寂しい」「親しみにくい」「重々しい」「鋭い」「調和のない」「うっとおしい」「不快な」側の評価となっていることから、青色光の使用には一定の配慮が必要であることが伺える。

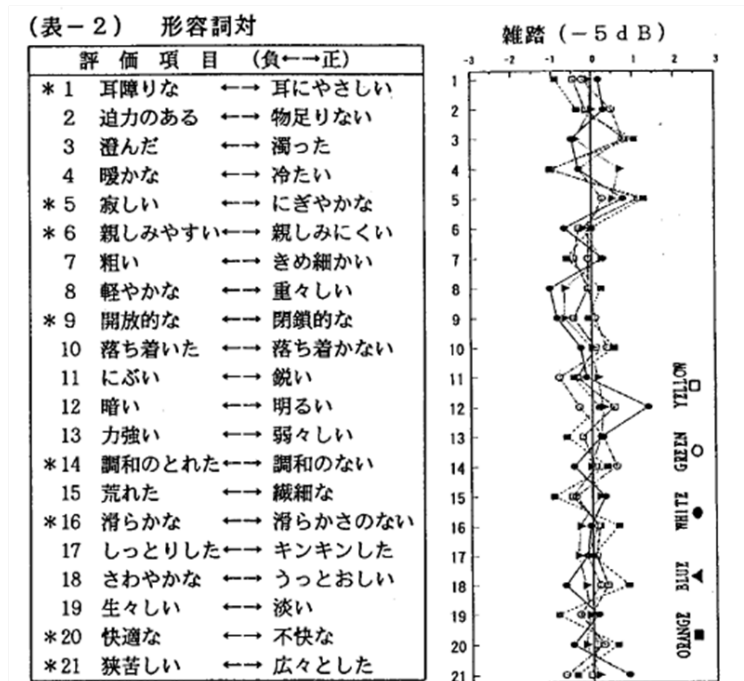


図 4.4.2 雑踏の実音量を 5dB 減じた音条件における光色の評価
(参考文献(1)から引用)

また、小林ら²⁾によって、光色と BGM の種類がカフェにおける会話行動に与える影響について検討された。カフェを想定した実験室内のテーブル面照度を 50 lx とし、ミラー付ハロゲンランプにカラーフィルタを装着して光色を白色光、青色光、赤色光、緑色光の 4 条件に変化させた。それぞれの色度を表 4.4.1 に示す。

表 4.4.1 照明条件 (参考文献(2)から抜粋)

	顔面鉛直 面照度 [lx]	室内水平 面照度 [lx]	壁面平均 照度 [lx]	床面平均 照度 [lx]	色度 (x,y)	相関色温 度 [K]
白色光	4.6	46.2	2.9	26.9	(0.479,0.411)	2400
青色光	4.2	32.4	2.4	16.1	(0.184,0.229)	-
赤色光	5.7	32.5	2.8	24.8	(0.622,0.346)	-
緑色光	5.6	31.8	2.8	23.5	(0.344,0.555)	-

BGM の種類は、アップテンポ、ボサノバ、バラード、ヒーリングの 4 条件であった。室内には同性 2 名で滞在し、20 時頃のカフェという設定で自由に会話させた。滞在ははず

れも7分間で、LAeqは65 dBであった。7分間の滞在のうち、後半5分間の会話行動を分析の対象とした。

被験者の行動観察の結果から、男女とも会話行動に対する光色とBGMによる複合効果は、いずれの項目にも認められなかった(表4.4.2)。傾向として、男女とも最も会話量が多かったのは白色光であり、次いで青色光であった。女性の場合には、テンポの速い曲ほど青色光の場合に緩和音量が大きくなることがわかった。

表 4.4.2 会話行動と光色の評価に対する二元配置分散分析結果
(参考文献(2)から引用)

		男性					女性					
		偏差平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率	偏差平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率	
視線	光色	1.63	3	0.54	1.38	0.26	光色	0.41	3	0.14	0.40	0.76
	BGM	4.23	3	1.41	3.48	0.02*	BGM	8.61	3	2.87	8.72	0.00**
	光色 x BGM	2.33	9	0.26	0.94	0.50	光色 x BGM	2.24	9	0.25	1.14	0.34
会話量	光色	1.78	3	0.59	1.54	0.22	光色	1.41	3	0.47	2.10	0.11
	BGM	11.15	3	3.72	9.88	0.00**	BGM	9.01	3	3.00	8.82	0.00**
	光色 x BGM	2.10	9	0.23	1.01	0.44	光色 x BGM	0.90	9	0.10	0.54	0.84
音量	光色	1.25	3	0.42	1.18	0.33	光色	1.55	3	0.52	2.73	0.06
	BGM	21.85	3	7.28	16.34	0.00**	BGM	23.68	3	7.89	20.32	0.00**
	光色 x BGM	1.50	9	0.17	0.71	0.70	光色 x BGM	0.75	9	0.08	0.52	0.86
姿勢	光色	3.38	3	1.13	3.42	0.02*	光色	2.29	3	0.76	2.11	0.11
	BGM	3.65	3	1.22	3.24	0.03*	BGM	0.95	3	0.32	0.94	0.43
	光色 x BGM	3.34	9	0.37	1.12	0.35	光色 x BGM	2.59	9	0.29	0.98	0.45

** 1%水準で有意 * 5%水準で有意

会話しやすさ評価(5段階評価)では、相手の顔を見ることの抵抗感を緑・赤・青色光の場合に感じている(図4.4.4)ことから、鮮やかな光色は、顔の見えなど視覚的效果や恋人と過ごすなどの雰囲気評価に影響しやすいことがわかった。短時間の会話や聞き取りやすさなど聴覚的效果にはあまり影響しなかった。

行為の適性評価(3段階評価)では、1人でカフェでくつろぐと想定した条件において、曲のテンポ(曲Aが最もテンポが遅く、曲B, C, Dの順に遅くなる)が遅いほど肯定的評価となり、白色光に次いで青色光も良い側の評価となった。1人でカフェで読書する場合や上司・先輩とカフェを利用すると想定した評価では、曲のテンポが速い場合、白色光より青色光のほうが良い側の評価であった(図4.4.5)。

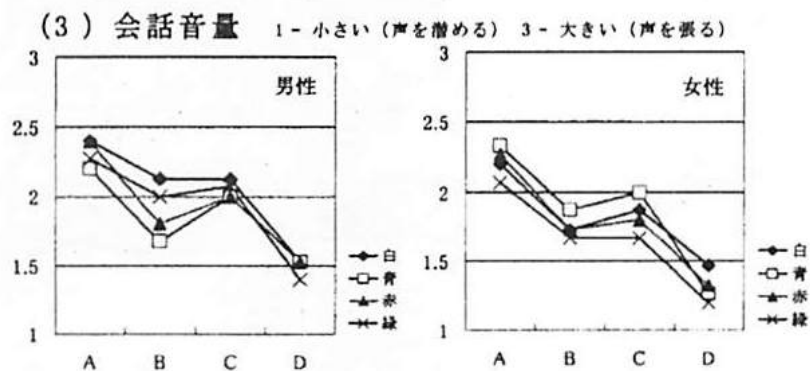


図 4.4.3 会話音量

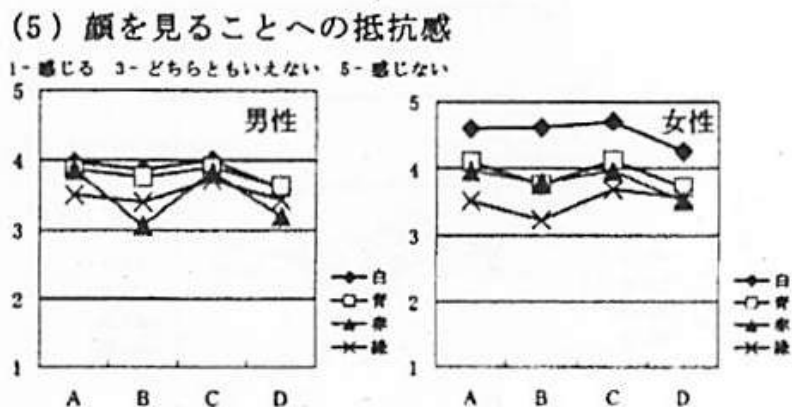


図 4.4.4 顔を見ることへの抵抗感

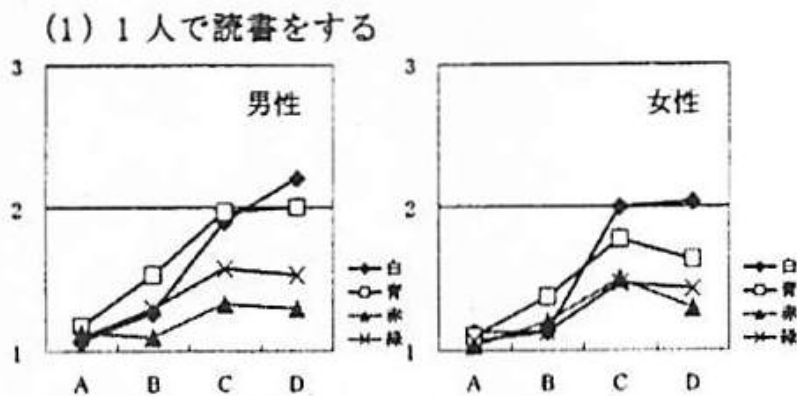


図 4.4.5 一人で読書をする

(図 4.4.3~4.4.5 いずれも参考文献(2)から引用)

4.4.2. 食欲および味覚に与える効果

小林³⁾が、飲食店を想定した鮮やかな光色で照明された食品に対する食欲について検討した研究では、赤色光、緑色光、青色光の3条件の光色をそれぞれ濃色・淡色に変化させた計6条件の光色で、食品を提示し評価させた。照明はテーブル上のペンダント照明で、リフレクタランプに舞台照明用カラーフィルタを装着し透過させ、テーブル面照度100 lxで照明した。照明6条件の光源色色度および周辺の輝度は以下の通りであった。

表 4.4.3 照明条件（参考文献(3)から抜粋）

	輝度(cd/m ²)				光源色度(x,y)
	顔面	壁面	天井面	食器	
青(濃)色光	2.0	0.5	2.3	19.0	(0.167,0.226)
青(淡)色光	3.8	0.5	1.2	25.7	(0.324,0.372)
赤(濃)色光	3.2	0.5	1.0	22.3	(0.680,0.318)
赤(淡)色光	2.7	0.4	0.9	20.7	(0.565,0.393)
緑(濃)色光	1.4	0.4	0.9	19.0	(0.317,0.586)
緑(淡)色光	2.1	0.4	0.6	18.50	(0.455,0.477)

使用した食品は、主食、野菜・果物、デザート、飲み物から各5品の計20品目で、被験者の好き嫌いが比較のないものを選定し、皿やグラスに配置して提示し、友人同士で飲食店に来たことを想定して視覚のみで判断するよう教示した。被験者は大学生25名であった。実験の結果、いずれの光色においても、淡色光より濃色光の場合にすべての食品で食欲が低下した。パスタ(カルボナーラ)とトマトの2品目は「食べられない」評価が50%を超えるなど、主食と野菜・果物で評価が低くなる傾向がみられた。逆に、デザートは比較的评价が高かった。デザートは着色料を用いた類似の食品があり受け入れやすかったことが原因と推察された。単色の食品より多色の食品のほうが光色の影響を受けやすく、光色によって色のバランスが変わりやすいことが主な要因であると示唆された。青色や緑色の寒色系の光色において、男性より女性のほうが食欲を低く評価した。食品の温度と光色には関連があり、温かいうどんやごはんでは赤色光、冷たいヨーグルトや水では青色光の評価が高い傾向がみられた(図4.4.6)。

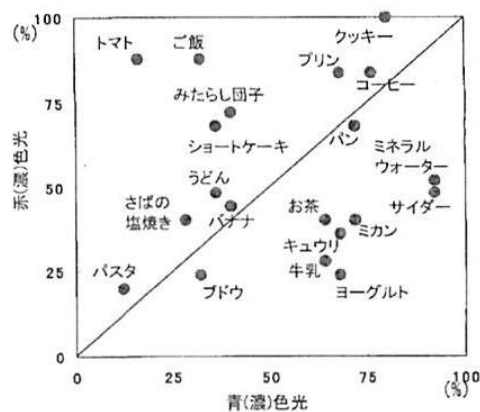


図6 光色による評価の比較
「抵抗なく食べられる」と回答した被験者の比率

図 4.4.6 「抵抗なく食べられる」とした被験者の比率 (参考文献(3)から引用)

生活習慣の違いによって照明要因が味覚にどのように影響するか把握するために、金ら⁴⁾が行った異なる照明下における唾液量と味覚閾値を検討した実験において、日本人男性10名と中国人男性10名(いずれも非喫煙者)を被験者とし、室温25℃、50~60%RHの実験室内で相関色温度および照度を変化させて甘味・塩味・酸味・苦味に対する唾液量を測定した。相関色温度は3000 Kと7500 Kの2条件、照度は200 lxと1500 lxの2条件であった。実験の結果、唾液量は200 lxで増加し、1500 lxで減少することがわかった。200 lxでは甘味と苦味の味覚閾値も高くなった(図4.4.7)。さらに、胃電図に及ぼす味覚刺激の変化を検討した実験では、味覚刺激のない状態でも色温度7500 Kより3000 Kのほうが胃電図における正常波比率が高かった(図4.4.8)ほか、日本人の甘味刺激に対する正常波比率を増加させたことが明らかとなった。胃電図の正常波比率の増加は、副交感神経の興奮によるものであることから、視覚刺激である照明の色温度が、味覚に関する生理反応を生じさせたと示唆される。

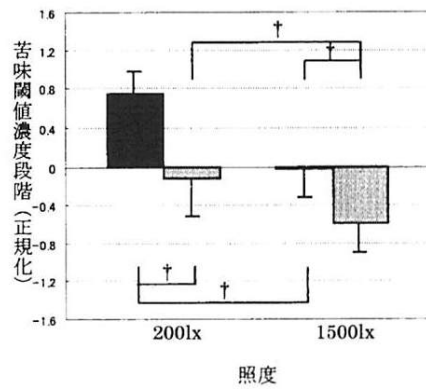
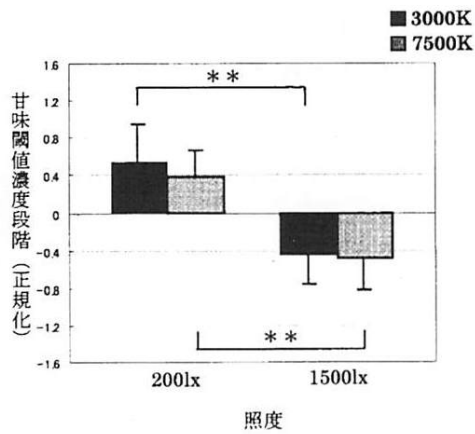


図3 日本人の照明による甘味(上)と苦味(下)の味覚閾値変化
mean±S. E. ** P<0.01, † P<0.1

図 4.4.7 日本人の照明による甘味と苦味の味覚閾値変化 (参考文献(4)から引用)

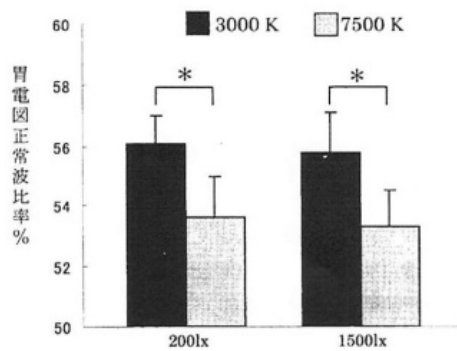


図7 照明による胃電図正常波比率の比較
mean±S. E. * P<0.05

図 4.4.8 照明による胃電図正常波比率の比較 (参考文献(5)から引用)

4.4.3. 温冷感覚に与える効果

垣鏑ら⁶⁾が相関色温度の変化が温冷感覚に及ぼす影響を検討した研究で、照度一定の条件において気温と相関色温度の組み合わせが人体の生理・心理反応に及ぼす複合的影響が検討された。実験は、机上面照度 1500 lx、室温 25℃、相対湿度 50%、気流速度 0.2 m/s の室内に被験者を椅座安静とし、相関色温度を 7500 K と 3000 K の 2 条件に変化させた。30 分間の暗順応の後、60 分間各色温度に曝露した。実験の季節は春季と秋季で、青年男女 8 名を被験者とした。実験の結果、60 分間の温冷感申告の変化は、春季では色温度による違いは見られなかったが、秋季では 7500 K の場合に時間の推移とともに暖かい側の申告へ、3000 K の場合に同様に涼しい側の申告に変化した (図 4.4.9)。さらに、7500 K のほうが指尖血流量が低くなる結果が得られたことから、心理的温冷感評価が生理的反応に裏付けられていることが示唆された。また、室温を 22℃ と 30℃ の 2 条件、色温度を 7500 K と 3000 K の 2 条件として組み合わせた実験を夏季と冬季に行い比較した結果から、Kruithof が提案した好みの色温度と照度の関係は夏季には適応するが、冬季はむしろ逆になる可能性があることを示唆している (図 4.4.10)。

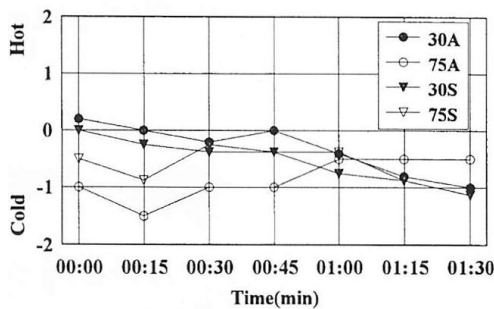


図 4.4.9 温冷感の経時変化

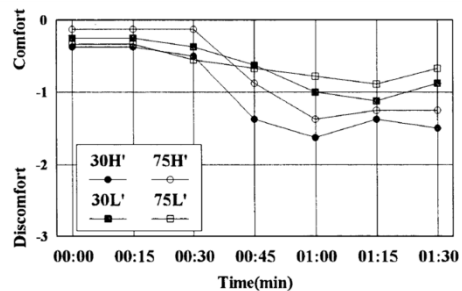


図 4.4.10 快適感申告量の変化 (冬季)

(図 4.4.9~10 いずれも参考文献(6)から引用)

(北村薫子)

参考文献

- (1) 戸井田義徳, 猪股泰太郎, 他 2 名: 音と色光の複合刺激による環境の評価に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集 D 分冊, pp. 1987-1988 (1994)
- (2) 小林茂雄, 小口尚子: 光色と BGM の種類がカフェでの会話行動に与える影響, 日本建築学会環境系論文集, No. 599, pp. 143-150 (2006)
- (3) 小林茂雄: 鮮やかな光色で照明された食品に対する食欲, 日本建築学会環境系論文集, 74-637, pp. 271-276 (2009)
- (4) 金信琴, 勝浦哲夫, 他 3 名: 異なる照明が日本人と中国人の唾液量と味覚閾値に及ぼす影響, 日本生理人類学会誌, 10-1, pp. 9-16 (2005)

- (5) 金信琴, 勝浦哲夫, 他 3 名 : 日本人と中国人の胃電図に及ぼす味覚刺激と照明の影響, 日本生理人類学会誌, 10-4, pp. 1-8 (2005)
- (6) 垣鏝直, 中村肇, 他 2 名 : 心理・生理反応から評価した好みの色温度と室温の組み合わせに関する実験的研究 : その 1 照度が 1,500 ルクスの場合の好みの色温度の季節差, 日本建築学会計画系論文集, No. 528, pp. 67-73 (2000)

5. 青色照明灯

青色は鎮静作用があると言われ、青色防犯灯や駅ホーム・踏切での自殺防止用青色灯の設置が広がっている。これらの青色照明灯が最初に導入されてから数年が経過しており、実際に期待した効果が得られているのかの検証が必要とされている。本章では、青色防犯灯と鉄道における自殺防止用青色灯導入それぞれの経緯と、その効果について述べる。青色防犯灯に関しては様々な検証が行われているので、その事例を紹介する。また、鉄道に関しては、これまでまとまった調査が見当たらないので本委員会の行ったアンケート調査の結果を紹介する。

5.1. 青色防犯灯の現状

夜間屋外での犯罪は全国的に減少傾向にある。しかし、ひったくりなど街頭犯罪は依然として夜間に多発している¹⁾。街頭犯罪8罪種の中、自転車盗を除き55～65%が夜間の暗い時間帯に発生しており、人目が少なく明かり不足による監視性の欠如が、犯罪発生の要因として挙げられる。このため、夜間街路照明は有効な防犯対策のひとつであり、明るさ（光の量）の確保は防犯のための夜間街路照明計画の基本要件である²⁾³⁾。

一方、光源の多様化により、我々は赤、青などのはっきりとした色味を持った光（有彩色光）を手軽に照明光として生活空間に導入できるようになっており、青色防犯灯の波及もその一端であるといえる。「光の質（=色）」に着目した有彩色光照明は、文字情報や音情報に依らないで被照明領域を特徴づけるために、領域性が主張しやすい。従って、環境サインとして有効であり、犯罪抑止対策におけるイメージカラーとしての活用が考えられる。しかし、色味がはっきりとしている光、即ち黒体軌跡近傍から大きく外れた光を照明光として利用することは従来想定されていなかったため、その視覚心理生理的影響や物理的影響、特に低照度下での影響については不明な点が多い。

そのため、青色防犯灯の是非をめぐって⁴⁾⁷⁾、あるいは青光をはじめ有彩色光の照明光としての心理生理的特徴²⁴⁾²⁵⁾、有彩色光の物理的特徴¹⁹⁾²¹⁾²⁶⁾²⁷⁾、青色灯設置地区の実情（照明環境、住民評価、犯罪発生率）²⁰⁾²²⁾などについて調査研究が行われている⁸⁾¹¹⁾。青色防犯灯に関する科学的根拠を持った確かな情報の提供が社会的要請となり、照明学会関西支部では「青色防犯照明を含む防犯照明の現状と課題」シンポ¹³⁾を開催し、学会誌に特集「防犯照明と青色光照明」を組み¹⁴⁾、更に「有彩色照明ガイド-防犯照明の課題-」を刊行¹⁵⁾している。また、市民安全学会においても年次大会において青色防犯灯を取りあげ、特に2007年堺大会ではワークショップ「青色防犯灯の防犯効果と課題」²⁴⁾²⁹⁾³³⁾が設けられている。

本節では、照明学会関西支部の活動¹²⁾を中心に、青色防犯灯に関して得られている知見を紹介する。

5.1.1. 波及の経緯

日本国内において青色防犯灯が登場したのは 2005 年 6 月、奈良市秋篠台においてである⁷⁾。この秋篠台にはじまる日本国内における青色街灯（青色防犯灯）の流行は、スコットランドのグラスゴー市の事例を紹介する HP（現在削除）と、おそらくこれをヒントにして作成された日本国内のテレビクイズ番組に端を発する。

かつては綿工業や造船で栄えたグラスゴーも第二次大戦後のイギリス経済の急激な悪化と共に衰退し、不況期が続き治安も悪化していた。青色街路灯は荒廃する街の景観改善を目的として設置されたものである。青色灯設置の他にも、2005 年には光のフェスティバルを実施し、ピンクをはじめ多彩な光で建築物や橋梁をライトアップするなど、照明を利用した景観美化に努めている¹⁶⁾。尚、青色灯の設置はグラスゴー市のごく一部である。

街一番の繁華街であるブキャナン通りでは、橙光街灯（高圧ナトリウムランプ）の交換時期が来たことを期に、2000 年に青色灯に替えられた。青色灯は、2 灯用の高出力ランプに青色カバーを取り付けたものである。青色街灯以外の灯具も併設されており、更に、各商店からの漏れ光も豊富であり、非常に明るい街路である（図 5.1.1(a)）。青色街灯は、約 30m 間隔で設置されており、直下照度は最高で 220 lx、最低 70 lx で、直下から 15m はなれた場所で、最高 150 lx、最低 21 lx である¹⁶⁾。青色光で街を彩ることには成功したが、消費電力増加や防犯カメラ映像への影響が課題となっている。

また、麻薬常習者が集る橋の下などに設置したところ（図 5.1.1(b)）、青光の下では静脈が見えにくくなり、静脈注射が困難になるため 40% 程度の麻薬常習者の減少がみられた。この副次効果が HP で報じられ、これが日本国内のテレビ放送で「犯罪が減少した」と拡大解釈して報道された。尚、英国警察は、麻薬取引や静脈注射を止めさせるために、紫外線屋外灯（UV lighting）を公衆トイレや集合住宅団地で用いている。金や薬、静脈の色認識が困難になることを利用したものである¹⁸⁾。



(a) ブキャナン通りの青色街灯¹⁶⁾



(b) 橋梁下のライトアップ¹⁶⁾

図 5.1.1 イギリス グラスゴー市

テレビ放送を契機として、光色による心理的効果に着目した奈良県警察本部との協議により、奈良市秋篠台住宅地（2005 地域安全ステーションモデル事業地区）では 2005 年 6 月、白色蛍光ランプ防犯灯の一部を 36W 青色蛍光ランプに取り替えた⁷⁾。その後、奈良県内の住宅地や駐輪・駐車場でも試行され、犯罪が減少したという事例が報告された。このことが新聞・テレビで報道され、2007 年 4 月末時点では 19 都府県 90 カ所以上に設置された。特に、奈良県では、2008 年 2 月末時点で 90 箇所 2637 基に及んでいる。2007 年時点では青森³²⁾、静岡、石川⁵⁾、愛知、大阪³¹⁾、広島、島根³³⁾、高知、鹿児島⁶⁾、沖縄をはじめとする 21 府県で導入され⁶⁾¹³⁾¹⁴⁾、2010 年には 47 都道府県全てにおいて設置されることとなり、現在に至っている。

5.1.2. 設置地区事例⁸⁾⁹⁾¹⁵⁾

日本では、自治会主体の設置事例が多いため、比較的利用者が限定される住宅街路や駐輪場の照明に用いられており、グラスゴーのように景観美化を主目標としてメイン通りや橋に設置されるという事例はない。一部、駅前などの公共空間にも設置されている。住宅街に設置される場合は、既存白色蛍光ランプを青色蛍光ランプに取り替えるというのが主流であるため、光色による発光効率の違いから、照度が白色の場合の 1/3 以下と低くなっている事例が多い。尚、ここで紹介する事例は、犯罪抑止を目的としたもので自殺防止を期待したものではない。

(1) 住宅地

図 5.1.2(a)は 20W 防犯灯（502 灯）のランプを青色ランプに取替えた事例である（2006 年 6 月設置）。現在は 550 灯以上になっている。奈良市秋篠台住宅に設置されて防犯効果挙げているとの情報を基に設置されたものである。明るさは、設置間隔により異なるが、0.8~1.3 lx である。住民の防犯意識が非常に高まり、活発な防犯活動が行われている。

図 5.1.2(b)は 2008 年度国土交通省「地域安全マップを活用した安全・安心まちづくり検討調査」事業の一環として、20W 防犯灯の内 12 基をコンパクト形 42W 防犯灯に取替た事

例である（2009年1月設置）。設置間隔は約30mで明るさは2lx程度ある。青色20ワット防犯灯に比べて、約2倍の明るさがある。



(a) 奈良県香芝市⁸⁾⁹⁾¹⁵⁾



(b) 愛知県知多市¹⁵⁾

図 5.1.2 青色灯設置事例（住宅地）

(2) 駐輪場

図 5.1.3(a)は、40W 蛍光ランプ笠付き照明器具を青色ランプに取り替えた事例である（2006年1月）。最初は6本のみ取替、場内外に「青色防犯灯を試行している、違和感があるかも知れない」の表示をし、その後24本全てを取り替えている。明るさは平均で22lxである。場内には2台の防犯カメラがあり、事務室で常時監視している。利用者への聞き取りを一部行ったところ、「えっ、青いランプだったの?」とか「これ青ですか」と問い返されるなど、光の変化に気付いていない人も散見されている。

図 5.1.3(b)は JR 駅前駐輪場の1階の蛍光ランプ40Wランプ(41基)が青色ランプに取替えられた事例である。2階は従来通りの白色ランプ(30基、他20W防犯灯が14基)である。明るさは、1階が7~14lx、2階が13~26lxである。敷地内には、1、2階合わせて7台の防犯カメラが設置されており、管理人が常駐している。



(a) 奈良県香芝市⁸⁾⁹⁾



(b) 埼玉県戸田市¹⁵⁾

図 5.1.3 青色灯設置事例（駐輪場）

(3) 駅前

図 5.1.4 は JR 駅前広場に設置された事例である (2007 年 7 月)。駅舎内は白色であるが、屋外掲示板、駅前広場およびその周辺に、新規設置や電灯の付け替えで、33 基が青色の光に変わっている。住民有志で結成されている「安全・安心まちづくりの会」では、駅前広場の青色街灯点灯式と併せてパトロールを行うなど、活発な自主防犯活動を展開し、民間と行政が一体となって安心して暮らせるまちのモデルとなることを目指している。



図 5.1.4 青色灯設置事例 (香川県宇多津町駅前広場)

5.1.3. 設置地区の実態調査 ^{8)-12),20)-22)}

2005 年 6 月から防犯効果を期待し青色光照明 (以下、青色灯) が導入され始め、現在では全国の住宅地や駐輪・駐車場に普及している。しかし、その犯罪抑止効果や屋外空間での有彩色光の心理作用は明確ではない。本節では、主に奈良県を対象として、2006 年度 ⁸⁾⁹⁾、2008 年度 ¹⁰⁾¹¹⁾²¹⁾、2010 年度 ²²⁾ に実施された実態調査を紹介する。調査内容は、設置の経緯と自主防犯活動の聞き取り、照明環境の実測、住民/施設利用者へのアンケート、犯罪発生率である。2010 年度調査では比較対象として、大阪府八尾市で行われた類似の実態調査結果が併せて紹介されている。同市はひったくり等の被害が多く防犯への関心が高く、自主防犯活動も積極的に行われており、調査対象地区とその近隣には青色灯は設置されていない。

(1) 設置の経緯

奈良県内の場合、2004 年 11 月に奈良市内女兒誘拐殺害事件が発生し、スコットランド・グラスゴー及び秋篠台住宅での青色灯設置事例が新聞・テレビで報道され、これに高い関心を寄せ所轄警察署に相談し助言や指導を受けたことによる。所轄警察からの薦めと担当者の強いリーダーシップに依るところが大きい。尚、2006 年度調査では、沖縄県、広島県、大阪府、静岡県でも調査が行われており、奈良県以外では、どちらかと言えば自治体・警察署主導型で進められている。

奈良県下では 2010 年時点 ²²⁾ で、ほとんどの地区で増灯もしくは現状維持の姿勢であり、青色パトロール車を利用した夜間パトロールや青色光の自動販売機の導入など積極的な自

主防犯活動がおこなわれている。しかしながら、維持管理費の問題や住民の意向により一部白色灯に戻している地区もある。また、同じく維持管理の観点から、青色 LED 防犯灯の開発を望む声が複数の自治会から挙げられている

(2) 自主防犯活動

自治会・防犯委員等を中心とした子どもの見守り、町内の夜間パトロールなどの活動が積極的に行われている。青色パトロール車を導入している地区もある。青色防犯灯を導入したことを契機に警察官による夜間パトロールを強化してもらっている地区もある。また、駐輪場には、シルバー人材センターの人が場内整理などの要員として常駐している。夜間は無人であるが、防犯カメラで24時間監視している。表 5.1.1 に、青色防犯灯設置後の自主防犯活動に関する聞き取り事例を紹介する。

表 5.1.1 青色防犯灯設置後の防犯活動⁸⁾

地区名	活動内容
住宅地 B	「自分達の街は、自分達で守る」という使命感で、47名の役員が中心となり活動している。パトロールは、昼夜を問わず365日、4～5名体制で1時間半掛けて全町を巡回している。葬式や病気で参加出来ない場合は、必ず代人を出している。子どもの登下校の見守りは毎日、週2回青色パトロール車(2台)による巡回を行っている。
住宅地 E	警備会社(ALSOK)による、3回/1日の町内巡回(10～15km/hで走行遵守)、夜間パトロール、回覧板、(今回のような)防犯勉強会、子ども見守り活動、警察官による巡回など。住戸の90%が「ALSOKホームセキュリティ」に加入(住宅建設時に、全住戸に一旦システムが導入され、3年間は使用料無料)。現在、隣地区との合同で、子どもの見守りを兼ねて『青パト』の配置を計画している。

(3) 照明環境の実測（夜間照度）

表 5.1.2 に青色灯設置地区の照度測定結果を示す。青色灯非導入地区（大阪府）の結果も併記されている。非導入地区の白色蛍光ランプの場合、平均水平面照度 3.2～6.4 lx であり、日本防犯設備協会が推奨する 3 lx³⁾を満たしているが、青色灯導入住宅地区では 0.73～1.4 lx であり推奨値を満たしていない。導入駐輪場は器具の設置間隔が狭く取り付け高さも低いため、照度は街路よりも高い。青色灯の特徴として、①平均水平面照度が低い、②鉛直面照度は白色に近い、③均斉度は白色灯と同等、などが挙げられる。

表 5.1.2 防犯灯設置状況および照度測定結果とアンケート回収数²²⁾

地域	用途	地区名	光色	防犯灯設置状況				照度測定結果					アンケート回収数					
				設置時期	ランプの種類	灯数(本)			設置間隔(m)	路面水平照度 (lx)			均斉度 最小/平均	鉛直面照度 最小値 (lx)	2006	2008	2010	
						2006	2008	2010		平均値	最大値	最小値					回収率	
奈良県	住宅地	A	青色	05.06	FPL36	12	—	10	32.7	1.41	3.87	0.37	0.26	0.25	37	—	61	64%
		06.06		FL20	502	—	600	22.5	1.14	2.2	0.5	0.44	0.6	—	—	76	84%	
		06.06		FL20	190	—	181	24.3	0.66	1.8	0.2	0.3	1.5	55	—	95	95%	
		06.07		FL20	25	—	14	20.7	1.4	3.7	0.2	0.14	0.2	50	—	80	80%	
		06.06		FL20	53	62	—	30.5	0.97	2.7	0.3	0.31	0.3	46	46	—	—	
		06.02		FL20	—		60	30.0	0.73	2.5	0.15	0.21	0.12	30	—	14	47%	
		06.02		FL20	120			—	—	—	—	—	—	—	20	—	18	60%
		06.02		FL20	—			—	—	—	—	—	—	—	27	—	10	33%
	06.12	FL20	—		—	—		—	—	—	—	—	—	—	13	65%		
	駐輪場	G	青色	05.12	FL20	11	11	11	5.2	10.43	18.5	6.3	0.6	2.3	58	—	73	100%
		H		06.01	FL40	24	24	24	4.3	22.21	27	16.7	0.75	10.9	25	9	62	100%
大阪府	住宅地	I	白色	—				42	3.15	7.02	0.97	0.31	0.49	—	—	44	82%	
		J		—				21	6.39	10.54	3.11	0.49	2.04	—	—	36	68%	

注) 照度測定は A~H 地区は 2006 年度, I・J 地区は 2010 年度に実施

(4) 住民評価の推移

図 5.1.5 は、安全安心の照明として今現在の青色灯による「通りの明るさ」「物の色のわかりやすさ」「夜間歩行時の安心感」を尋ねた結果である。F-3 地区以外では、「夜間歩行時の安心感」については評価が高いが、「通りの明るさ」「物の色のわかりやすさ」という視認性関連事項は不十分であると感じている住民が多い。

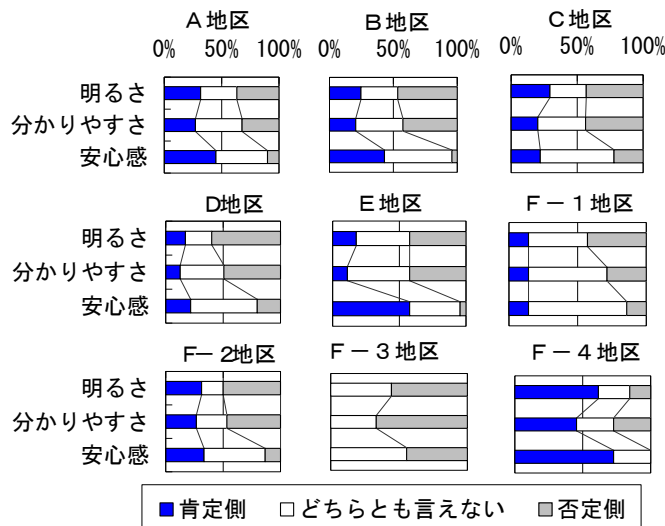


図 5.1.5 安全安心の照明としての今現在の青色灯の評価(2010 年, E 地区のみ 2008 年)²²⁾

図 5.1.6 は、設置当初(2005.6~2006.12)と比べて現在(2010 年 9 月前後)の青色灯の印象の変化を尋ねた結果である。「肯定」はより明るく分かりやすくなったことを示し、「否定」は暗くわかりにくくなったことを示している。「夜間歩行時の安心感」は設置当初よりも高くなっているが、「通りの明るさ」や「物の色のわかりやすさ」が低下したと感じ

ている住民が 15～50%おり、看過できない現状である。ランプの維持管理面に問題がある可能性もある。

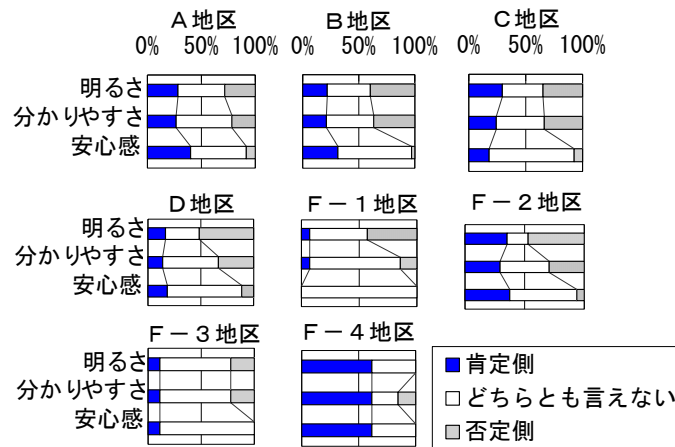


図 5.1.6 設置当初と現在の比較 (2010) ²²⁾

図 5.1.7 は、青色灯継続の是非の経年変化を示したものである。青色灯導入地区のうち 2/3 の地区で過半数が継続を希望しているが、各地区の継続希望割合は 2006 年度に比べ全体的に低下している。

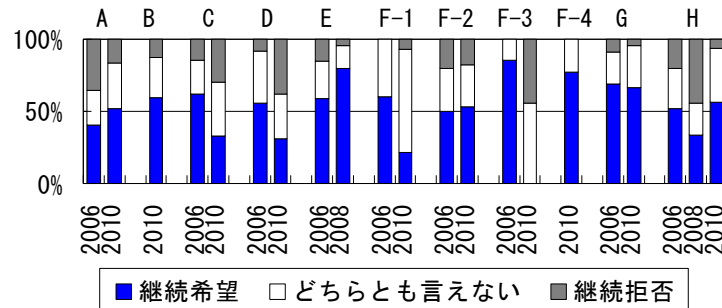


図 5.1.7 青色灯継続に関する意見 (2006 年と現在の比較) ²²⁾

図 5.1.8 は街路灯として好ましいと思う光色を示したものである。青色灯導入地区では住宅地 D,F-1,F-3 では、白色が好まれているが、その他の地区では青色が白色を約 30%以上上回るか、同率である。一方、非導入地区（大阪府八尾市）では白色の方が好まれている。尚、非導入地区での青色灯の認知度は 60～70%である。

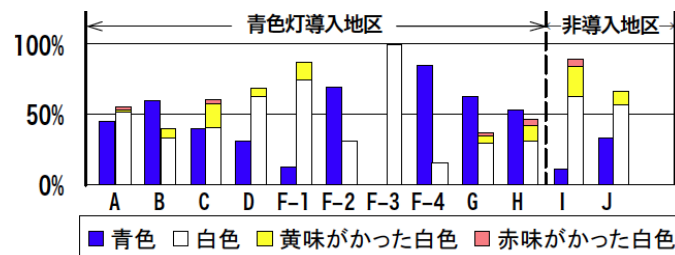


図 5.1.8 街路灯として好ましいと思う光色 (2010 年) ²²⁾

(5) 犯罪発生率の推移

犯罪の発生は、全国的に 2002 年をピークとして、年々減少の傾向にある。従って、青色灯の防犯効果を確認するには、全体の減少傾向と併せて検討する必要がある。図 5.1.9 は街灯犯罪の減少率を、奈良県と大阪府全域、奈良県青色灯導入地区（A～H）合計、非導入地区として大阪府八尾市について示したものである。

奈良県全域で 12%～30%，導入地区で 26%～72%であり，導入地区の減少率の方が上回っている。図 5.1.10 に導入地区の設置前後の犯罪発生件数と設置後の推移を示す。大阪府全域では 6～35%，比較対象とした八尾市全域では 7～34%である。八尾市では自治会役員を中心とし，警察や市役所とも連携した夜間見回り，暗がり診断，街灯整備などの防犯活動が行われているが，大阪府全域の減少率の方が上回っている。

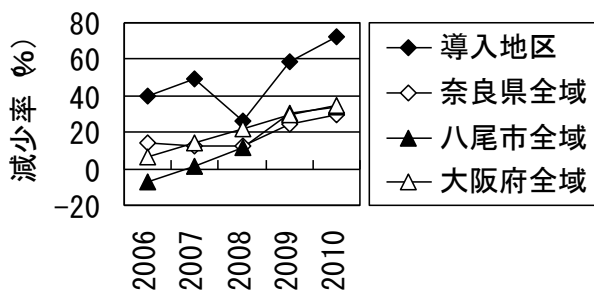


図 5.1.9 犯罪発生率の推移²²⁾

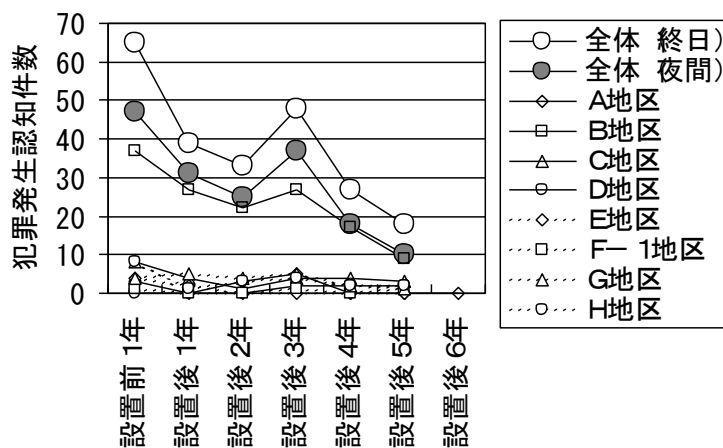


図 5.1.10 青色灯導入地区における犯罪発生件数の推移²²⁾

これらの結果より，青色防犯灯を設置した箇所の犯罪発生率は全体に減少しているといえるが，奈良県下では，もともと犯罪発生件数が少なく，更に住宅地では表 5.1.1 に示すように積極的な防犯活動が行われており，その効果が大きいと考えられる。住宅地と公営駐輪場・駐車場の計 24 の青色防犯灯設置箇所の犯罪発生件数を調査したところ，複合的防犯対策が取られている 15 箇所では 10 箇所で犯罪が減少しているが，複合的対策が取

られていない 9 箇所では増減半々（増 5 箇所，減 4 箇所）であることが報告されている¹⁴⁾²⁹⁾。防犯灯のランプを青光ランプに取替えるだけで，防犯効果が得られる訳ではないことが示されており，地域の自主防犯活動が活発に行われていることが犯罪減少の主たる理由であるといえよう。

5.1.4. 青色街路灯の現地評価実験

文献 5 では，周囲に障害物のない敷地に街路灯を設置した屋外模擬実験の結果を基に，青色灯が白色灯に比べて視認性が低いことを報告している。文献 9，文献 23 では条件が類似している住宅街の 2 本の街路にそれぞれ青色灯と白色灯を取り付け，視認性と街路空間の印象評価をしている。文献 5 では大規模な実験結果が紹介されているが，評価条件や結果の導出に不明な点が散見されるため，ここでは文献 16 の結果概要を紹介する。

(1) 実験概要

実験は 2007 年 4 月，奈良市秋篠台住宅地区で実施されている。街路灯設置条件のほぼ等しい 2 つの街路を白（三波長型）と青の 36W コンパクト型蛍光ランプで照明している。各地の設置事例に多くみられる 20W 型ランプの明るさに近似させるために遮光布（黒布）を用いて発光光束を約 50%にした場合も検討している。実施に際しては，車の進入制限を行い，門灯や室照明の消灯，雨戸使用など各住戸からの街路への漏れ光を最小限に留めることへの協力が得られている。評価内容は，視力，色票の見え，路面や人の見え，空間の印象である。被験者は若齢者 17 名，壮齢者 11 名，高齢者 11 名の計 39 名である。



図 5.1.9 実験街路風景⁹⁾²³⁾



図 5.1.10 視標の評価風景⁹⁾²³⁾

(2) 結果概要⁹⁾²³⁾

以下に結果の概要を示す。

- (1) 視距離に依らず，視標面照度が等しい場合，あるいは見かけの大きさが等しい場合は，概ね顔面鉛直面照度が低い方が見やすい。即ち，視対象の条件が同じであれば，暗いところからの方が見やすい。
- (2) 細部の識別については，顔面鉛直面照度の違いを考慮すると色光による違いはない。
- (3) 色の判別については，概ね白光の方が分かり易いか同等である。
- (4) 視距離による見えの変化については，低視力群や高齢群では，青光で見えの低下が

小さい条件も認められるが、光色による明確な差はない。

(5)街路環境評価については、被験者属性との関連性が低いが、実験室における基礎実験と同様に、照度に影響される因子と光色に影響される因子が抽出された。

実験では、光色間で街路照度が一致する条件がなく、視標面照度が同一であっても白光での街路照度が青光に比べて2～3倍高く（これは表5.1.2に示す各地の街路測定結果にも見られる光色の特徴である）、また、観察位置によって顔面照度が異なるなど、環境条件の統一が不十分である。このため、ここでは視距離に関する検討は十分ではない。視距離に関しては、別途、主観評価や色光の距離減衰に関する検討が行われており、青色照明光下では遠くまで見えるという風評の根拠はないことが示されている²⁷⁾²⁸⁾。

一方、細部や色の見え、街路の印象に関しては、実験室における有彩色光に関する基礎実験結果^{8)・12)15)}とほぼ一致しており、現場における各光色の特徴を把握する上で、基礎実験結果は有効であることが確認されている。

5.1.5. 被疑者らの評価⁹⁾¹³⁾¹⁴⁾²⁰⁻²²⁾

犯罪を企てる立場からの評価を収集するために、奈良県下において犯罪被疑者、補導少年を含む多様な人々に対してアンケート調査が行われている。

(1) 調査方法

調査期間は2006年11月から2007年3月である。調査は奈良県警本部の協力の下に実施されている。アンケートの内容を表5.1.3に示す。実施に際しては、アンケート回答者が青色防犯灯の設置現場を実際に見ているとは限らないので、写真集（住宅地・駐輪場など10カット）を見せている。

アンケート対象者は、表5.1.4左欄に示すように被疑者43名、補導少年48名である。比較対象として、奈良女子大学学生66名、設置地区住民37名、奈良県・奈良市勤務者69名、防犯講習会受講者32名、奈良県警22名についても実施している。

表5.1.3 アンケート内容⁹⁾

認識度	①知っているか否か ②どのようにして知ったか ③知っている青色防犯灯			
印象評価	陽気／陰気 動的／静的 好き／嫌い	澄んだ／濁った 暖かい／冷たい 明るい／暗い	安心／不安 強い／弱い 落ち着く／落ち着かない	快適／不快 情熱的／理知的 (7段階)
抑止効果	抑止効果があると思う／どちらかといえばあると思う（→肯定群） どちらとも言えない（→中間群） どちらかといえばないと思う／ないと思う（→否定群）			
	理由（自由記述）			

(2) 認識度と犯罪抑止効果評価

表 5.1.4 に青色防犯灯の認識度および抑止効果評価の結果を示す。青色灯を知っている割合は全体では 73.1% であるが、被疑者、補導少年、大学生という 10 代～20 代が多い群では、認識度 50% 以下と低い。他の群では認識度 91.2%～100% と高い。青色灯を知っている場合は、70% 以上が実際に現場を見ている。

犯罪抑止効果に対する回答を「肯定群／中間群／否定群」に分けると（表 5.1.3 参照）、A 群（42.9%, 23.1%, 34.1%）、B 群（38.5%, 36.2%, 15.3%）、C 群（77.2%, 13.6%, 9.1%）である。また、青色灯を知らない場合は（44.8%, 27.6%, 27.6%）であり、知っている場合は（50.4%, 32.2%, 17.4%）である。全体の 48.9% が、抑止効果があると考えており、効果がない 20.1% を大きく上回っている。しかし、補導少年、奈良市役所職員の 2 群では、抑止効果が無いと考える者の方があると考える者より多い。

抑止効果がある理由として「落ち着く・沈静化する」「明るい・見通しが良い」「防犯意識が高まる」があげられている。ただし、「明るい」は照度測定実施地域の実態とは合致しない。何をどのように感じた上での回答なのかは不明である。被疑者・補導少年（A 群）は効果がある理由に「やる気がなくなる」「落ち着かない／落ち着く」「相手が警戒している」「びっくりする」、効果がない理由に「（無意味・無関係）をあげている。

表 5.1.5 に犯罪抑止効果に関する自由記述を示す。

表 5.1.4 アンケート対象者と青色防犯灯の認識度および抑止効果評価⁹⁾

回答者の属性	平均年齢	回収数	青色灯を知っている (%)				青色灯を知らない (%)				
			肯定群	中間群			肯定群	中間群	否定群		
A	被疑者	24.1	43 (41・2)	20.9	11.6	9.3	41.9	32.6	11.6	14.0	58.1
	補導少年	15.0	48 (42・6)	18.8	10.4	22.9	52.1	14.6	12.5	20.8	47.9
B	学生（奈良女子大学）	20.6	66 (0・66)	25.8	19.7	4.5	50.0	22.7	16.7	10.6	50.0
	設置地区住民（秋篠台）	63.1	37 (13・24)	54.1	35.1	10.8	100	—	—	—	0
	奈良県庁勤務者	41.0	35 (26・9)	51.4	37.1	11.4	100	—	—	—	0
	奈良市役所勤務者	45.9	34 (28・6)	20.6	41.2	29.4	91.2	2.9	2.9	2.9	8.8
	防犯講習会受講者	42.2	32 (32・0)	56.3	25.0	9.4	90.7	—	3.1	3.1	6.2
	その他	49.3	7 (3・4)	57.1	28.6		85.7	14.3	—	—	14.3
C	奈良県警察本部勤務者	43.2	22 (15・7)	77.3	13.6	9.1	100	—	—	—	0
計		324 (200・124)		36.8	23.5	12.7	73.1	12.1	7.4	7.4	26.9

表 5.1.5 犯罪抑止効果に関する自由記述(複数回答, 括弧内は被疑者と補導少年の回答)

記述内容	青色灯を知っている			青色灯を知らない			計
	肯定群	中間群	否定群	肯定群	中間群	否定群	
明るい・見通しが良い	14(4)	2(0)	1(1)	6(5)	—	—	23(10)
きれい	2(2)	2(2)	—	—	—	—	4(4)
暗い・見通しが悪い	1(1)	2(1)	4(2)	1(1)	1(1)	3(3)	12(9)
落ち着く・沈静化する	54(4)	5(2)	—	12(4)	4(0)	—	75(10)
落ち着かない・不気味・陰気	7(1)	3(0)	9(1)	9(5)	2(0)	6(0)	36(7)
あきらめる・やる気がなくなる	2(2)	—	—	1(1)	—	—	3(3)
防犯意識が高まる	7(0)	2(0)	1(0)	—	—	—	10(0)
警戒しているように感じる	1(1)	—	—	2(2)	—	—	3(3)
(犯罪者が)警戒・びっくりする	1(1)	—	—	1(1)	—	—	2(2)
無意味・無関係・変化なし	—	3(3)	9(9)	—	4(4)	4(4)	20(20)
その他	20(3)	5(0)	9(1)	4(2)	3(1)	2(1)	43(8)
実績が少ない・未検討	5(0)	4(0)	2(0)	—	—	—	11(0)
分からない	3(1)	8(0)	3(0)	—	5(0)	7(7)	26(8)
無回答	12(0)	46(4)	5(2)	1(1)	6(6)	1(1)	71(14)
計	129(20)	82(12)	43(16)	37(22)	25(12)	23(16)	339(98)

(3) 印象評価⁹⁾

青色灯の印象は、A 群では「情熱的」を除く全ての項目で、肯定群と中間群の平均評価値が否定群より高い。特に、「安心、快適、好き、落ち着く」という価値的項目において肯定群と否定群の差が大きい。B 群についても絶対値は異なるが、傾向は同様である。肯定群の評価を属性別に見ると、「安心、落ち着く」の評価が、C 群が他に較べて高い。「好き」は A 群と C 群が同等で、B 群に較べ高い。中間群や否定群でも「快適、好き、落ち着く」は A 群が B 群に較べ高い。効果を肯定する人たちは青色灯を好意的に捉えている。

A～C 群を所属等で 9 群に細分類し(表 5.1.4)、更に「年齢」「知っている／知らない」「肯定群／中間群／否定群」で細々分類して因子分析を行ったところ、因子構造は基礎実験や現場実験の結果とほぼ等しい。また、被疑者と補導少年のみで分析した場合も、この 2 群を除いて分析した場合も基本的には同じ構造であり、力量(明るい、強い)、活動(動的、暖かい)、価値(落ち着く、快適、好き)の 3 因子に分けられる。被疑者と補導少年には活動因子と価値因子に関連性があり、この 2 群を除いた場合は力量因子と価値因子の関連性があるという特徴がみられたが、両者では主たる年齢層が異なる。

以上、奈良県では青色防犯灯の認知度は高いが、被疑者や補導少年の認知度は約 50%と

相対的に低い。犯罪の実行と照明光色は全く無関係という、被疑者や補導少年の意見がある一方、この群以外からは、青色は落ち着き感あるとして、犯罪抑止効果理由に多数あげられている。被疑者・補導少年と同群以外とは、「落ち着く、快適、好き」という価値的項目に従属的な項目が幾分異なるが、年齢層の影響も考えられる。

5.1.6. 防犯カメラ画像への影響⁹⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁹⁾²⁰⁾

防犯カメラは防犯対策として重要な役割を果たしている。犯罪抑止効果を期待して導入されている青光が、カメラ画像の色の再現性や細部の見えなどに及ぼす影響についての検討結果を紹介する。画像録画は松下電器産業(株)と松下電工(株)の協力を得て実施されている。

(1) 画像撮影条件

評価用被写体は、日本防犯設備協会の防犯映像システム評価チャート（色票、文字、人物写真）、マネキン（3体）、歩行人物（1名）である（図 5.1.13 右）。評価用画像の録画条件は 20 条件である。CP980 と CP480 では（照度 3 段階）×（標準/高感度）×（カラー/白黒）の組み合わせ 7 条件を白光と青光の各々で計 14 条件、CW130 はカラー標準機能のみのため 3 照度×2 光色の 6 条件である。カメラと被写体との距離はチャートと歩行人物は約 4m、マネキンは約 5m である。照度はチャート中央部で 0.3 lx、1.0 lx、10 lx に設定した。マネキン位置の鉛直面照度はチャート位置の約 50～60% である。0.3 lx、1.0 lx は住宅地、10 lx は駐輪場の明るさを想定している。

表 5.1.6 撮影機材と環境⁹⁾

撮影時期	2007 年 1 月 25 日～26 日
撮影場所	松下電器東京有明パナソニックセンター映像ラボ
カメラ機種	WV-CW980：屋内ハウジング一体型カラーカメラ，感度 UP 機能(有) WV-CP480：屋内型カラーテレビカメラ，感度 UP 機能(有) WV-CW130：屋外ハウジング一体型カラーテルックカメラ，感度 UP 機能(無)
録画用機材	デジタルレコーダーWJ-HD350，システムコントローラーWV-CU650，カラーモニター
照明器具	コンパクト形蛍光ランプ 36W 用防犯灯具（YF31455P-GH） 蛍光ランプ（昼白色 PFL36EX-N，青色 PFL36EB）
被写体	日本防犯設備協会防犯映像システム評価チャート（文字，色票，人物写真），マネキン，歩行人物

(注)38 万画素 H768×V494。CW960 と CP480 は、画像処理の基本性能は共通。CW960 はスーパー防犯灯用機種。標準のシャッタースピードは 1/60。高感度（電子感度アップ）では、カラーは CW960 は 4.32 倍、CP480 は 4.10 倍、白黒は 32 倍と 10 倍（CW130 には白黒と高感度はない）。絞りは画像が最適になるように条件ごとに設定。

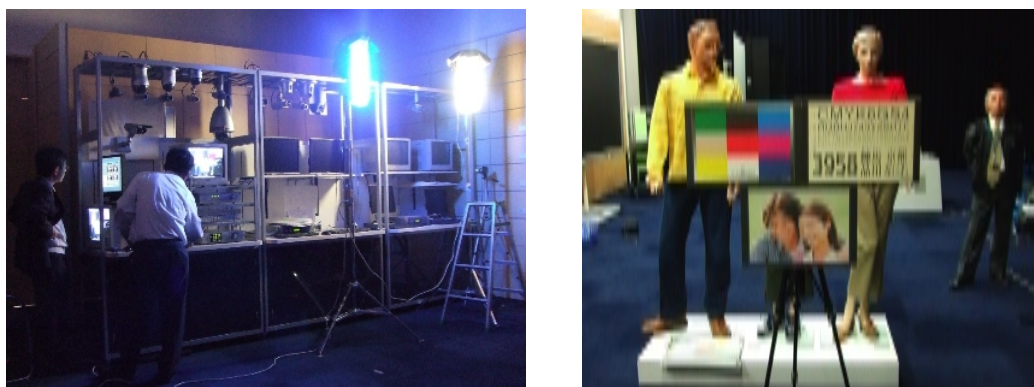


図 5.1.13 撮影風景（左：機材と照明，右：被写体）⁹⁾

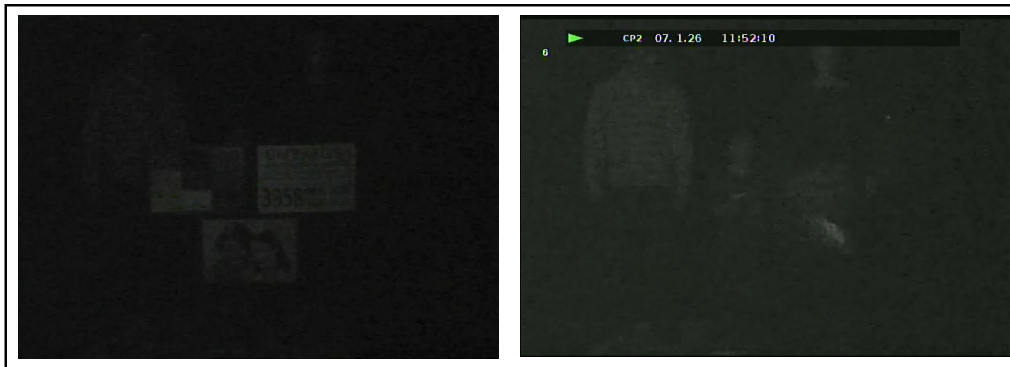
(2) 評価方法と評価用画像

評価画像の輝度と色度は、撮影カメラの性能、録画・再生機器や使用ソフトによって異なってくる。評価時の室や照明条件によっても画像の物理条件（色度，輝度）は変化する。従って、再生媒体，評価環境，評価者の視力や観察方向によって評価値は異なる。撮影画像はデジタルレコーダーに記録され、これを CD-R へコピーし、基本的にはこのディスクを再生して評価が行われた。評価条件を表 5.1.7 に示す。評価は照明実験室での学生 36 名による評価と、一般会議室での高齢者 4 名による評価の 2 通りで行われている。照明実験室と一般会議室での結果は程度の差はあるが、同様の傾向を示したということである。

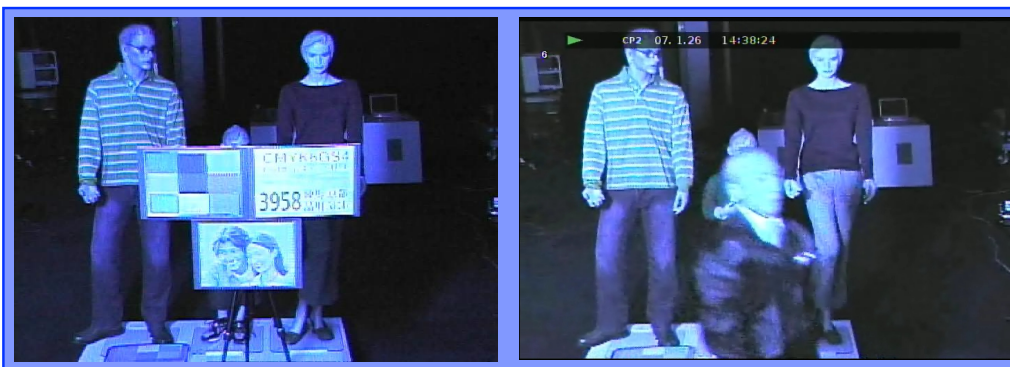
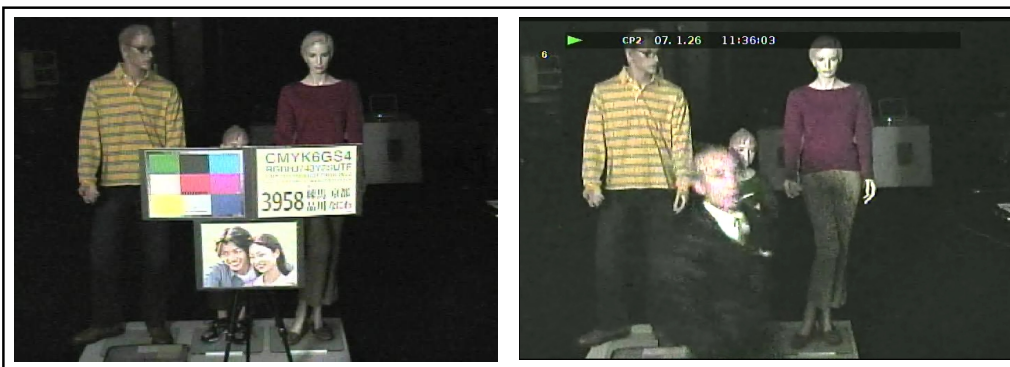
CW960 と CP480 は、画像処理の基本性能が共通であるとして、実験室評価は CW480 と CP130 の 2 機種種の画像について行われている。図 5.1.14 に CW480 による画像事例を示す。標準低照度 (0.3 lx) 標準感度では青色照明下での撮影画像の方が被写体内容が判別できるが、1.0 lx 以上の高感度では、画像の鮮明度に差はなく、色判別は青色照明下では出来ないことが、図 5.1.14 より明瞭である。

表 5.1.7 評価条件⁹⁾

実験時期	2007 年 6 月	2007 年 5 月	
実験場所	奈良女子大学生生活環境学部照明実験室	一般会議室	
被験者	奈良女子大学生 36 名（視力矯正済み）	男性 4 名（61 歳～67 歳）	
使用器具	17 インチモニター（白色輝度 220cd/m ² 、黒色輝度 1.0 cd/m ² ）解像度 1280×1024 ピクセル、32 ビット 再生ソフト：GOMplayer ver. 2.1.3.3413	評価チャート：カラープリント（A4 版） マネキン・歩行人物：①ソニーバイオ（2000 年製 14 型）、②東芝ダイナブック（2006 年製 15 型）、③ソニーバイオ（2004 年製 15 型）	
被験条件	均一照明（光天井、36W 型蛍光灯、5000K） 被験者顔面鉛直照度 415lx モニター一面照度 370lx、 机上面照度 530lx、画面正面から評価	机上面照度約 350lx、 画面にほぼ正対して評価	
評価項目	色票（9 色）	各色票の見かけの色を記載	6 色以上、3 色以上分る、2 色以下（3 段階）
	文字（6 種）	各文字列の読みやすさ（4 段階）	読める、かろうじて読める、読めない（3 段階）（大きさ 40 ポイントのみ）
	人物写真	服装、目鼻立ち、表情の分かり易さ（4 段階）	人物の目鼻の特徴（4 段階）
	マネキン	服装、目鼻立ち、表情、拳動、衣服の色の分かり易さ（4 段階）	マネキンの目鼻の特徴が、分かる、やや分かる、 分かりにくい、分らない（4 段階）
	歩行人物	服装、目鼻立ち、表情、拳動の分かり易さ（4 段階）	人物の顔などが分かる、分からない



(a) VW-CP480 0.3 lx・標準 (上段：白色灯，下段：青色灯)



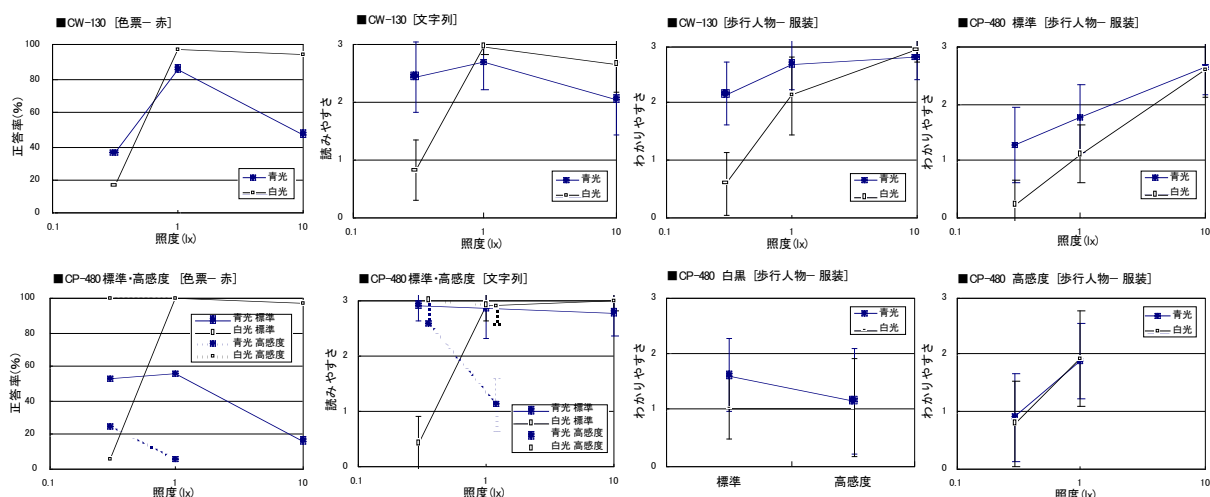
(b) VW-CP480 1.0 lx・高感度 (上段：白色灯，下段：青色灯)

图 5.1.14 画像例

(3) 実験室での評価結果

図 5.1.15 に実験室での評価結果の一例を示す。

- (1) 色の判別：標準 0.3 lx では青光の方が正答率が高いが，その他は白光の方が正答率が高い。尚，どちらの機種のカメラでも青光 10lx の正答率が低くなる傾向が多く条件に認められる。これは光色の影響ではなく，照明光の映り込みなど撮影状況に起因するものと考えられる。(図 5.1.15(a))
- (2) 文字の判別：色の判別の場合と同様に，青光の方が分かりやすいのは標準 0.3 lx である。高感度では白光の方が分かりやすい。標準 1.0 lx と 10 lx には殆ど差はない。(図 5.1.15(b))
- (3) 人の判別：人物写真，マネキン，歩行人物(図 5.1.15(c))のいずれの場合も，10 lx では評価が飽和し光色による差が小さくなるが，標準と白黒の場合にはどちらの機種のカメラでも 0.3, 1.0 lx では青光の方が評価が高い。カラー高感度のときは人物写真では白光の方が評価が高い。マネキンと歩行人物はほぼ同じ評価であるが，高感度の場合，露光時間が長い歩行人物はぶれて判別しにくくなる。



(a) 色票の正答率[赤] (b) 文字の読みやすさ (c) 人物の分りやすさ[服装]

文字の読みやすさ: 0=全く読めない 1=少し読める 2=ほとんど読める 3=読みやすい

人物の分りやすさ: 0=分からない 1=わかりにくい 2=だいたい分かる 3=分かる

図 5.1.13 実験室での評価結果 (青年女子 36 名)⁹⁾

以上より光色の見え方への影響をまとめると，白黒画像では，人の表情や動きは青光の方が判別しやすい。カラー画像は色判別でも，低照度では青光の方が判別しやすく，照度が高くなると白光の方が判別しやすくなる。人の表情は低照度では青光が，高感度では白光が判別しやすい。動くものの判別は，青光の方がよい。

このように青光で見やすい場合が多いのは，ここで使用された防犯カメラの光感度ピークが図 5.1.14 に示すように 505nm にあることに依る。ランプ最大出力時(白光 2900 lm, 青光 840 lm)のカメラに対する光刺激は白光：青光=100：78.5 であるため，照度を揃えた

場合は白光：青光＝1：2.7である。従って、同一照度であれば、青光の場合は白光の2.7倍の光刺激を得ることになる。防犯カメラの性能は各メーカー独自のものであり、この評価実験結果が防犯カメラを代表するものとは言えない。青色と白色で差異はないという報告（文献4）もあれば、青色光照明ではわかりにくいという報告（文献5）もある。有彩色照明に際しては防犯カメラ感度特性と使用光源の分光特性の関係に対する配慮が重要である。

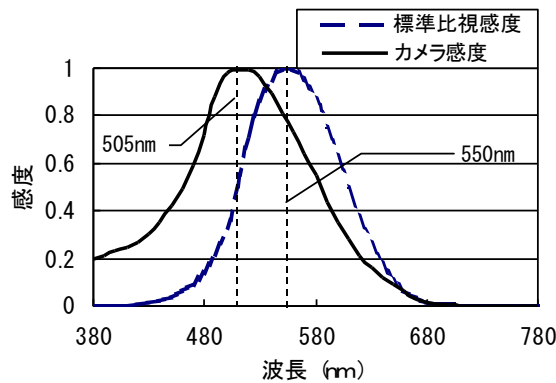


図 5.1.14 カメラの分光感度¹⁹⁾

5.1.7. 小括

色味のはっきりとした有彩色光による照明は、文字情報や音情報に依らないで被照明領域を特徴づけることが可能であり、領域性が主張しやすい。設置地区での犯罪発生件数は減少している事例が多く、その減少率は、地域が属する市や県の減少率を上回っている。

しかし、青光の落ち着いた印象が、犯罪抑止に直結するとは考えにくい。青色防犯灯の設置に端を発した十分な防犯活動、設備整備という生活基盤の充実によって、地域の安全性が向上したことが大きな原因であると考えられる。即ち、複合的な防犯施策の成果であり、犯罪件数の減少は、青色防犯灯の間接的効果であると考えられる。

有彩色光を使用する際には、経済性の観点からエネルギー効率への配慮が必要である。低照度では薄明視照度、即ち視感度の変化に対する配慮も必要である。視力と明るさ感などの印象では、色光の影響が大きく異なるため、有彩色光による照明設計の際は明視計画と明るさ感などの雰囲気計画は、明確に分離して実施することが肝要である。

また、有彩色光については視環境への影響のみでなく、健康や生態系への影響についても考えていく必要がある。例えば、短波長光（青光）は、夜間に長時間の多量な曝露が想定される際にはメラトニンの抑制作用による睡眠障害、高輝度の場合は網膜障害などへの配慮が必要である。また、長波長光（赤光）は、植物の成長に関与する場合がある（主に600nm前後）ので、周辺環境の生態に対する配慮が必要である。

上記の事由により、青色防犯灯の周辺環境や居住者への影響については、今後も継続的に把握していく必要があるといえる。

（井上容子）

参考文献

- (1) 警察庁犯罪情勢
- (2) 日本工業規格 JIS Z 9111-2010 道路照明基準
- (3) 日本防犯設備協会：日本防犯設備協会技術基準 SES E1901-2, 防犯灯の照度基準 (2011)
- (4) 石川県野々市町住民生活部くらしの安全課：平成 18 年度都市再生プロジェクト推進調査, 青色街灯による安全・安心なまちづくりの推進調査報告書 (2007)
- (5) 日本防犯設備協会：街路安全性を踏まえた防犯灯の光色のあり方に関する調査研究, 2007 年度社会安全研究財団委託研究報告書 (2008)
- (6) 石附 弘他：夜間照明環境の形成による安心安全なまちづくりに関する調査研究～青色・防犯灯の活用と検証～, 鹿児島市・(財)地方自治研究機構/調査研究委員会報告書 (2008)
- (7) 井上容子：青色防犯灯設置街路の視環境調査報告書=奈良市秋篠台地区の場合=, 奈良女子大学現代 GP 安全安心なまちづくり平成 17 年度報告書 (2006)
- (8) 井上容子他：防犯照明の見え方に関する研究報告-青色などの有彩色光の影響について, 2006 年度照明学会関西支部 防犯照明の見え方に関する研究委員会報告書 (2007)
- (9) 井上容子他：青色防犯灯の犯罪抑止効果に関する実証研究, 2006 年度社会安全研究財団研究助成報告書 (2007)
- (10) 井上容子他：青色などの有彩色防犯灯の犯罪抑止効果および安全性に関する実証研究, 2007 年度社会安全研究財団研究助成報告書 (2008)
- (11) 井上容子他 3 名：青色などの有彩色防犯灯の犯罪抑止効果および安全性に関する実証研究, 社会安全, 第 73 号, 社会安全研究財団, pp.26-36 (2009)
- (12) 井上容子：有彩色光照明に関する研究報告—防犯照明の課題, 照学誌, 94-9, pp.630-639 (2010)
- (13) 照明学会関西支部編：青色防犯照明を含む防犯照明の現状と課題, 電気四学会関西支部シンポジウム資料 (2008)
 - 13-1) 須谷修治：青色防犯灯の導入背景と全国実態調査, 電気四学会関西支部シンポジウム資料「青色防犯照明を含む防犯照明の現状と課題」 (2008)
 - 13-2) 金城雄一：青色・防犯灯を活用した安全安心なまちづくりに関する調査研究—平成 19 年度鹿児島市との共同研究報告書より—, 電気四学会関西支部シンポジウム資料「青色防犯照明を含む防犯照明の現状と課題」 (2008)
 - 13-3) 井上容子：有彩色光照明の視認性と雰囲気とに及ぼす影響 (および, 被疑者への聞き取り, 防犯カメラへの影響), 電気四学会関西支部シンポジウム資料「青色防犯照明を含む防犯照明の現状と課題」 (2008)
 - 13-4) 久保博子, 井上容子：有彩色光の生理的・心理的影響, 電気四学会関西支部シン

- ポジウム資料「青色防犯照明を含む防犯照明の現状と課題」(2008)
- 13-5) 小山恵美：青色光が居住者の生活におよぼす影響，電気四学会関西支部シンポジウム資料「青色防犯照明を含む防犯照明の現状と課題」(2008)
- 土井 正：総括：防犯照明の要件と青色光の課題，電気四学会関西支部シンポジウム資料「青色防犯照明を含む防犯照明の現状と課題」(2008)
- (14) 照明学会編：特集，防犯照明と青色光照明，照学誌，92-9，pp.620-658 (2008)
- 14-1) 松島公嗣：特集，防犯照明と青色光照明，防犯照明と青色光照明の編集にあたって，照学誌，92-9，pp.620-621 (2008)
- 14-2) 金城雄一：特集，防犯照明と青色光照明，青色防犯灯を活用した安全安心なまちづくりに関する調査研究—平成 19 年度鹿児島市との共同調査研究報告書より—，照学誌，92-9，pp.622-628 (2008)
- 14-3) 福田守秀：特集，防犯照明と青色光照明，青色防犯灯で安全・安心のまちに～複合的な防犯対策による犯罪抑止～，照学誌，92-9，pp.629-630，2008.9
- 14-4) 須谷修治：特集，防犯照明と青色光照明，青色防犯灯の導入背景と全国実態調査，照学誌，92-9，pp.631-636 (2008)
- 14-5) 井上容子：特集，防犯照明と青色光照明，有彩色光照明が視認性と雰囲気及ぼす影響，照学誌，92-9，pp.637-644 (2008)
- 14-6) 14-5) 久保博子，井上容子：特集，防犯照明と青色光照明，有彩色光の生理的・心理的影響，照学誌，92-9，pp.645-649 (2008)
- 14-7) 小山恵美：特集，防犯照明と青色光照明，夜間の青色光が近隣居住者の生活におよぼす影響について—非視覚的生理作用および生活環境適合性についての考察—，照学誌，92-9，pp.650-653 (2008)
- 14-8) 土井 正：特集，防犯照明と青色光照明，防犯照明の要件と青色光の課題，照学誌，92-9，pp.654-658 (2008)
- (15) 照明学会関西支部編：有彩色照明ガイド—防犯照明の課題— (2010)
- (16) 大阪府都市整備部：2007 年度政策提言サポートシステム，道から始まるにぎわいづくり，道から始まる地域づくり研究グループ (2008)
- (17) 例えば，http://www.glasgowarchitecture.co.uk/buchanan_street.htm
- (18) Bill Cass: Secured by Design (設計による安全確保)，都市住宅学会関西支部「安全安心を目指す住宅地再生セミナー」資料 (2008)
- (19) 藤本亜弓，井上容子：青色光による街路環境照明に関する研究，日本建築学会近畿支部研究報告集 第 48 号・環境系，pp.9-12 (2008)
- (20) 井上容子，地域防犯活動と青色光照明街路の視環境，日本市民安全学会第 5 回戸田大会予稿集，pp.95-100 (2008)
- (21) 藤本亜弓，井上容子：青色防犯灯設置地区における夜間街路環境の実態とその経年変化，日本建築学会近畿支部研究報告集，第 49 号・環境系，pp.9-12 (2009)

- (22) 川淵絵里子, 井上容子: 照明による夜間の安全性と快適性—青色光導入箇所の利用者意識に関する経年調査—, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第 51 号・環境系, pp.13-16 (2011)
- (23) 井上容子: 青色防犯灯下での視対象の見え方と街路空間の印象に関する現場検証, 市民安全学会第 4 回堺大会予稿集, pp.132-137 (2007)
- (24) 井上容子, 泊 美穂, 色光の視覚心理生理的影響に関する検討—若齢者と高齢者の色・細部識別能力, 空間の印象, 心拍・血圧について—, 日本建築学会近畿支部研究報告集 第 47 号・環境系, pp.73-76, (2007)
- (25) 井上容子, 久保博子, 新美聡子, 有彩色光照明に関する研究-生理・心理的影響の検討-, 日本建築学会近畿支部研究報告集 第 48 号・環境系, pp.349-342 (2008)
- (26) 井上容子, 東野恵理佳: 有彩色光の見やすさへの影響—見通し効果と消費エネルギーの検討—, 日本建築学会近畿支部研究報告集 第 49 号・環境系, pp.49-52 (2009)
- (27) 井上容子: 有彩色照明に関する最近の研究動向, 照明学会関西支部専門講習会資料 (2010)
- (28) 須谷修治: 青色防犯灯の犯罪抑止効果に関する実証研究—青色防犯灯による防犯カメラ画像への影響, 市民安全学会第 4 回堺大会予稿集, pp.124-129 (2007)
- (29) 宮本勝弘: 青色防犯灯で安全・安心のまちに—複合的な防犯対策による犯罪抑止—, 市民安全学会第 4 回堺大会予稿集, pp.130-131 (2007)
- (30) 東口幸治: 堺市北区百舌鳥赤畑町に於ける青色防犯灯の試行実験と犯罪発生件数の推移について, 市民安全学会第 4 回堺大会予稿集, pp.138-143 (2007)
- (31) 鈴木 誠: 青い森 安全・安心ブルーアップ作戦の実施について—青色の持つイメージを活用した犯罪抑止対策, 市民安全学会第 4 回堺大会予稿集, pp.144-145 (2007)
- (32) 丸本 到: 防犯ボランティアと協働した青色防犯灯による安全安心まちづくり—県内 13 市町村の 212 地区に 2636 基設置—, 市民安全学会第 4 回堺大会予稿集, pp.146-147 (2007)

5.2. 鉄道駅、踏切設置の青色照明灯の現状

近年、鉄道駅や踏切において飛び込み自殺防止を目的とした青色照明灯を目にする機会が多くなった。本節では、導入から波及までの経緯を公開資料に基づいてまとめ、設置状況や効果に関する現状の実態調査を紹介する。

5.2.1. 波及の経緯

鉄道における青色照明灯の最初の導入事例は、2008年2月に京浜急行の弘明寺駅に設置された8基である。読売新聞の記事（2008年12月10日夕刊）¹⁾によると、同駅では未遂を含め毎年2、3件の飛び込み自殺が起きており、前月の1月にも2日間続けて夜間に飛び込み自殺があった。「自殺を1件でも減らすため、できることはなんでもしてみようと、わらにもすがる思いで始めた」（同社鉄道本部安全対策担当）という。その後、青色照明はJR各社等が試験導入し、JR東日本も山手線全29駅に取り付けた。

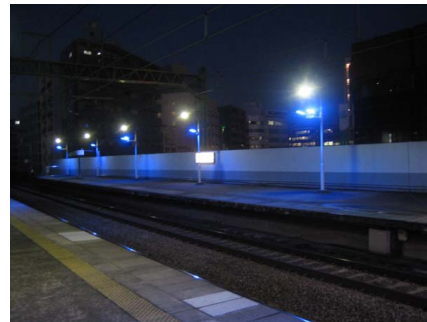
更に横浜市が2009年度、鉄道事業者が行う自殺対策に効果があると思われる安全対策機器の整備等に対し助成する事業を行った²⁾。協働事業者としてこの補助を受けた京浜急行電鉄、東京急行電鉄、相模鉄道は下記の通り設置を行った。

- ・京浜急行電鉄（生麦駅、京急鶴見駅など4駅、鶴見市場駅付近の踏切2か所など全6か所で青色照明設備の設置、能見台駅付近でフェンス設置）
- ・東京急行電鉄（江田駅、妙蓮寺駅で青色照明設備の設置、大倉山駅で乗車目標青色灯設置）
- ・相模鉄道（天王町駅、和田町駅など8駅、上星川から瀬谷駅間の踏切10か所など全18か所で青色照明設備の設置）

青色照明光設置事例を図5.2.1に示す（横浜市記者発表資料²⁾より転載）。横浜市の事業は2009年度以降も継続した。また2011年度には、埼玉県も県内に路線を持つ4社を対象として、青色のLED照明の設置費を補助することを決めた³⁾。

ただし、青色照明と飛び込み自殺との関係についての科学的根拠は不明であり、効果に関してはまだ検証されていない。しかし、国土交通省⁴⁾によると、全国の場合の鉄道で起きた自殺は2006年度以降増加を続けており2008年度に起きた「輸送障害」4191件のうち自殺は647件で15%を占めた。首都圏に関しては2004年度以降増加を続けており、首都圏1都3県（東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県）で2008年度に起きた「輸送障害」679件のうち、自殺は307件で45%を占めた。鉄道各社は、接触事故対策として転落防止柵の設置等を進めているが、自殺には有効な対策を見いだせていない。このような状況を考慮すると、少しでも可能性があるのであれば青色照明灯の効果に期待したいという事情が考えられる。国土交通省は2009年12月、首都圏の鉄道12事業者と列車の運休や30分以上の遅れにつながった「輸送障害」についての首都圏鉄道輸送障害対策会議を開き⁴⁾、自殺対策も含めて話し合った。その中で、ホーム等に置ける監視の強化等に加え「青色照明」の効果の検証などを呼びかけた。

資 料



京浜急行電鉄
京急鶴見駅
ホーム青色照明設備

東京急行電鉄
大倉山駅
乗車位置目標青色灯



相模鉄道
上星川駅付近
踏切青色照明設備

図 5.2.1 青色照明光設置事例（横浜市記者発表資料，平成 22 年 3 月 26 日より転載²⁾）

5.2.2. 導入例紹介

2011 年 12 月に、関東で青色照明光を導入している鉄道会社の安全対策担当者に青色照明灯導入の現状についてのヒアリングを行う機会を得たので、1つの事例として紹介する。この会社における青色照明光導入の詳細な経緯は、担当者が当時とは変わっているため分からないということだが、特定の駅での飛び込み件数が増加したことで対策の必要性が高まったことが発端のようである。飛び込みによる人身事故はダイヤの乱れに大きく影響して利用者の迷惑になるだけでなく、運転士への精神的負担も大きい。早急に対策を講じる必要があったが、ホーム扉の設置が難しい駅も多く、他社で行われた警備員を増やす対策でもそれほど大きな効果が得られていないことから、実現可能な対策として青色照明灯が導入されたという経緯が考えられる。

平成 23 年 11 月末現在のデータを提供いただくことができたため、それらを元に作成した導入件数と飛び込み件数の推移を表すグラフを図 5.2.2 に示す。これまでに、駅と踏切を合わせて 17 カ所に設置している。棒グラフは駅と踏切における青色照明の設置件数、折れ線は、青色照明設置駅、踏切での飛び込み件数（点線と破線）と路線内全ての飛び込み件数（実線）を示している。青色照明を導入した H20 年度以降、飛び込み件数は減少傾向にある。青色照明設置駅での飛び込み数に関しては、H20 年度全 7 件中 6 件は設置前、1 件は死亡には至らず、H21 年度全 6 件中 5 件は設置前、1 件は照明非点灯時（朝、昼、夕方）、H22 年度 2 件中 1 件は設置前、1 件は照明非点灯時であった。また、23 年度全 3 件中 1 件は照明非点灯時であり、1 件は照明点灯時であった（残り 1 件は、聞き取りしていなかったため設置前と非点灯時のいずれか不明）。したがって、照明点灯時で死亡に至った事例は H23 年度の 1 件のみということである。担当者は効果があるという感触を持っているようであった。

前述の通り、青色照明の効果により飛び込みが減少すれば、正常な運行を確保でき、運転士に安心感を与えることで運転時の負担も軽減できる。青色照明の効果が期待でき、また他に効果的な対策案がないため、今後も導入していく計画ということである。

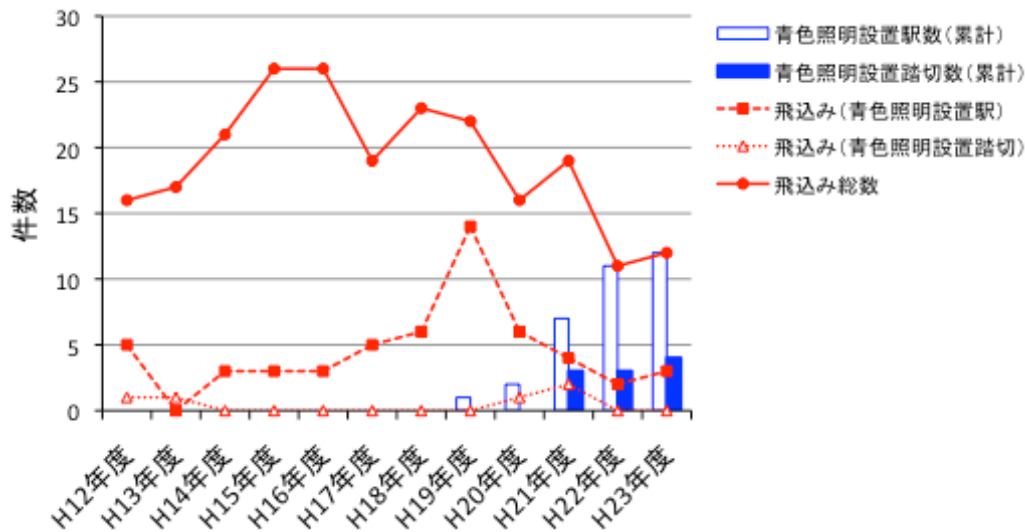


図 5.2.2 青色照明導入件数と、飛び込み件数の推移

5.2.3. 実態調査

鉄道分野において、ホームや踏切における飛び込み自殺等の事故防止のために一部の駅で青色照明が試験的に導入されているという話はニュース等では耳にする。また、安全報告書に導入事例を掲載している鉄道会社もある（民営鉄道各社の安全報告書は、日本民営鉄道協会のホームページからリンクされている⁵⁾）。しかし、これまでにまとまった報告は見あたらない。現在までに青色照明灯がどの程度普及しているのか、また自殺防止への効果があるのかを検証することは、青色照明の現実面での応用という観点から見て有用である。したがって今回、鉄道分野における青色照明導入について実態調査を行うことにした。

5.2.3.1. アンケート調査

実態調査は、2012年1月末から3月にかけての期間に行った。主要鉄道会社27社に対し、アンケート調査用紙を送付し協力依頼を行った。ただし、事前に問い合わせをした会社のうち、協力への承諾を得られなかった数社にはアンケート用紙を送付していない。

質問項目は下記の通りである。

1. 社名
2. 駅のホームについて
 - 2.1 青色照明設置駅数、駅名（設置していない場合：設置予定の有無）
 - 2.2 青色照明にしたのは(1)LEDあるいは(2)蛍光灯などの照明のいずれか
3. 踏切について
 - 3.1 青色照明踏切数、踏切名（設置していない場合：設置予定の有無）
 - 3.2 青色照明にしたのは(1)LEDあるいは(2)蛍光灯などの照明のいずれか
4. 利用者からの主な意見（自由記述）
5. 青色照明設置に関する貴社のご意見（自由記述）

さらに、下記項目についても可能であれば回答いただくよう依頼した。

6. 駅のホームについて（詳細）
 - 6.1 過去5年間の青色照明の設置状況
 - 6.2 過去5年間の飛び込み件数の推移（事故による線路進入は除く）
（注1）駅により設置時期が異なるため、平成22年末時点の設置駅を対象とする
 - 6.3 代表的な駅における飛び込み件数の推移（事故による線路進入は除く）
（1）駅名、（2）設置時期、（3）飛び込み件数の年ごとの推移
 - 6.4 青色照明設置時期と同時期に他の安全対策を行ったか
7. 踏切について（詳細）
 - 7.1 過去5年間の青色照明の設置状況
 - 7.2 過去5年間の飛び込み件数の推移（事故による線路進入は除く）
（注2）踏切により設置時期が異なるため、平成22年末時点の設置踏切を対象とする
 - 7.3 代表的な踏切における飛び込み件数の推移（事故による線路進入は除く）
（1）踏切（駅）名、（2）設置時期、（3）飛び込み件数の年ごとの推移
 - 7.4 青色照明設置時期と同時期に他の安全対策を行ったか

5.2.3.2. 結果

(1) 有効回答数

アンケート協力依頼を行った27社中、8社の協力を得られ、7社は協力不可能と回答、12社は未回答であった。

(2) 青色照明灯設置の有無，設置件数

表 5.3.1 に青色照明灯設置の有無を示す。アンケートに協力不可能という回答でも，その理由が設置していないためという場合は「設置なし」，数が少ないためという場合は「設置あり」にカウントした。また，アンケートへの回答は得られなかったが，各社の安全報告書や新聞の報道で設置・試験的設置が確認された件数を「設置あり（外部情報）」として載せた。未回答で外部情報からも確認ができなかった場合は，「不明」としている。

表 5.3.1 青色照明灯設置の有無

青色照明灯設置の有無	駅	踏切
設置あり	3	6
設置あり（外部情報）	5	5
設置なし	9	6
不明	10	10

表 5.3.2 に，有効回答のうち設置件数（平成 22 年度時点）を示す。また，アンケートへの回答は得られなかったが設置件数が平成 23（2011）年度の安全報告書に掲載されていた 3 社（I, J, K）のデータも参考のため示す。

表 5.3.2 青色照明灯の設置件数（* 2011 年度の安全報告書に明記されていた設置件数）

会社	駅	踏切
A	13	4
B	13	26
C	2	3
D	0	15
E	0	1
F	0	1
G	0	0
H	0	0
I*	?	94
J*	1	?
K*	3	8

(3) 照明の種類

5 社が LED 照明を使用，1 社は LED 照明と水銀灯等を併用していた。

(4) 過去5年間の青色照明の設置状況と自殺者の推移

回答の得られた5年間の青色照明の設置状況（累計）と自殺者の推移について、駅の結果を表5.3.2、踏切の結果を表5.3.3に示す。

表 5.3.2 過去5年間の青色照明の設置駅数と自殺者の推移

		平成18年 (2006年)	平成19年 (2007年)	平成20年 (2008年)	平成21年 (2009年)	平成22年 (2010年)
C社	青色照明設置駅数(累計)	0	0	0	0	2
	青色照明設置駅における件数	非公表				
	全駅における件数の推移	非公表				
B社	青色照明設置駅数(累計)	0	0	0	8	18
	青色照明設置駅における件数	2	0	4	3	1
	全駅における件数の推移	3	2	4	4	1

表 5.3.3 過去5年間の青色照明の設置踏切数と自殺者の推移

		平成18年 (2006年)	平成19年 (2007年)	平成20年 (2008年)	平成21年 (2009年)	平成22年 (2010年)
C社	青色照明設置踏切数(累計)	0	0	0	0	3
	青色照明設置踏切における件数	非公表				
	全踏切における件数の推移	非公表				
B社	青色照明設置踏切数(累計)	0	0	0	10	20
	青色照明設置踏切における件数	3	0	0	1	2
	全踏切における件数の推移	4	1	1	2	4
E社	青色照明設置踏切数(累計)	0	0	0	1	1
	青色照明設置踏切における件数	0	0	0	0	0
	全踏切における件数	0	2	7	6	3

また、代表的な駅、踏切における飛び込み件数の推移の例を挙げる。

・A社（駅、平成21年12月設置）

H18年1件、H19年1件、H20年0件、H21年2件（設置前）、H22年0件

- ・ A 社（踏切，平成 21 年 7 月設置）
H18 年 0 件，H19 年 0 件，H20 年 0 件，H21 年 1 件（非点灯時），H22 年 0 件
- ・ B 社（駅，平成 22 年 3 月設置）
H18 年 1 件，H19 年 0 件，H20 年 3 件，H21 年 0 件，H22 年 0 件
- ・ B 社（踏切，平成 22 年 3 月設置）
H18 年 1 件，H19 年 0 件，H20 年 0 件，H21 年 0 件，H22 年 1 件

(6) 他の安全対策の有無

1 社から，非常停止ボタン設置の対策を行ったという回答を得た。

(7) 自由記述

利用者から意見は特になし，という回答しか得られなかった。その他，自由記述で得られた回答を挙げる。

- ・ 青色照明設置後も死傷事故（自殺推定）が発生したことから，青色照明の効果については確認されておりません。
- ・ 既存踏切照明設備の配線を使用した，回路構成が複雑化した。今後保守を考えると設備の習熟が必要と思う。
- ・ 青色照明だけでは所要照度の確保は難しく，補助的に従来の照明と併用が必要と思われる。
- ・ 他社の導入による効果をうかがっているが，実際効果が分からないため，今後の導入は未定である。

5.2.4. まとめ

鉄道駅，踏切設置の青色照明灯に関しては，現時点では導入に積極的な会社と慎重な会社の両方が存在することが分かった。しかし，アンケート調査の結果や，安全報告書，各種報道から，首都圏の鉄道会社の多くが何らかの形で導入しているといえる。全国的にも，試験的に数カ所に導入している会社は多いのではないかと考えられる。また，市や県の支援を受けている場合は導入が進んでいた。

青色照明光の効果については，導入したことにより自殺件数が減少したという認識を持っている会社がある一方，効果が見られなかった，もしくは分からないという意見も多い。今回のデータは一部の鉄道会社のみを元としているため，結論を出すことはできない。統計的な分析をするには，多くの会社のデータと自殺者の全国的データを複数年に渡って収集する必要があるため，青色照明の効果については引き続き検証が必要である。

鉄道会社にとっては，駅や踏切での運輸障害は電車の運行に大きな影響を与え，利用者への影響も甚大であるため，自殺防止対策は大きな課題となっている。新幹線や一部の駅に導入されている転落防止柵やホームドアは効果的な対策と考えられるが，設置には多額

の費用がかかり、また駅の構造上設置が困難な場合もある。その中で、効果の可能性のあるものを試していこうという姿勢は重要である。青色照明灯に自殺防止効果があれば、比較的安価で導入できる有効な対策となる。他の様々な対策を講じる努力と共に、青色照明灯の効果を検証することが今後とも必要と考えられる。

(溝上陽子)

参考文献

- (1) 読売新聞東京版夕刊，2008年12月10日
- (2) 横浜市記者発表資料：鉄道事業者と協働で「自殺対策事業」を行いました（健康福祉局 障害支援課），2010年3月26日
<http://www.city.yokohama.jp/ne/news/press/201003/20100326-025-9951.html>
- (3) 埼玉県 精神保健福祉センター，精神保健福祉だより No.71，2010年7月
<http://www.pref.saitama.lg.jp/page/tayori71.html>
- (4) 国土交通省報道発表資料：「首都圏鉄道輸送障害対策会議」の開催結果について，国土交通省鉄道局，平成21年12月22日
- (5) 一般社団法人日本民営鉄道協会 <http://www.mintetsu.or.jp/>

6. まとめ

本委員会は、青色光をキーワードに、その心理的・生理的効果に関する研究の動向を調査すること、それらの知見の適用範囲を明確にすること、さらに検討すべき課題を提案することを目的として活動を行ってきた。特に、青色照明光の見え(明るさ・グレア等)、生理的効果(生体反応等)、心理的効果(防犯等)を中心に、委員が分担して関連研究の調査、また委員自身が行った研究等を検討してきた。

本報告書は、工学技術分野においては触れる機会の少ない心理学分野の青色に関する事項から、心理、生理学的な研究、実際の活用例という、多角的観点から青色照明光を捉えるために特に重要と考えられるトピックを、できる限り取り入れて作成した。ただし、その選択は、委員の専門分野や興味によって限りがあり、青色照明光の可読性や視認性等、本報告書ではカバーしていないが重要なトピックも多くあることにご注意いただきたい。

本報告書において、これまで断片的に存在していた情報をまとめたことで総合的な理解が深まり、青色照明光の更なる活用に少しでも貢献できれば幸いである。

研究調査委員会報告書の著作権について

本報告書の著作権は（社）照明学会に帰属します。

複写をされる方に

本報告書に掲載された著作物は、政今が指定した図書館で行うコピーサービスや、教育機関で教授者が講義に利用する複写をする場合等、著作権法で認められた例外を除き、著作権者に無断で複写すると違法になります。