

論文

濃霧中における物体色に対する色知覚

Apparent Color of 10 Standard-color-cards in Dense Fog

高松	衛	Mamoru Takamatsu	富山大学	Toyama University
中嶋	芳雄	Yoshio Nakashima	富山大学	Toyama University
飯塚	昌之	Masayuki Iizuka	東京工芸大学	Tokyo Institute of Polytechnics
吉原	紳	Shin Yoshihara	聖マリアンナ医科大学	St. Marianna University, School of Medicine

Abstract

Our visual characteristics are affected by various visual environments. In this experiment, we examine how object colors look in dense fog. Namely, 7 male subjects evaluated their color perception of object color in the presence of fog and in the absence of fog.

Subject's task is to match the apparent color of 10 standard-color-cards in dense fog with the Munsell color.

In the presence of fog, apparent color showed a drastically decrease both in the chroma and in the value.

We are confident that in the visual environment involving fog, these results are extremely helpful both in basic study and in practical use.

要 旨

我々人間の色覚特性は、視環境条件の違いによって大きく変化する。本論文においては、視環境条件として濃霧を想定した。すなわち濃霧中における物体色に対する色知覚について、7人の色覚正常者を用いてマッチング法により定量的に測定した。

被験者は、濃霧中における10種類の標準色票に対する知覚色を、手元に設置されたマンセルカラーシートを用いてそれぞれマッチングさせた。

結果より、いずれの色票においても霧の濃度が高くなるに従い、見かけの彩度及び明度は減少傾向を示すことが明らかとなった。

本実験結果は、視覚に関する基礎研究面のみならず、濃霧中における交通視環境問題と対策といった実用面においても有用な基礎的データを提供するものと考えられる。

1. はじめに

我々が日常生活を営んでいく際、周囲環境からの情報収集という面においては、視覚は際立った働きを示しているといえる。

一般に、視覚、聴覚、臭覚、味覚及び触覚といったいわゆる五感の中では、視覚による情報収集量の割合は80%とも、あるいは場合によってはそれ以上ともいわれている¹⁾。日常生活において、仮に目が全く見えない状況を想像すれば、その果たしている役割がいかに大きいかが容易に想像されよう。

一方、このように重要な役割を担っている視覚情報ではあるが、もし何らかの原因により、阻害あるいは遮断されることが生じたとするならば、これはきわめて重大かつ深刻な意味を持つといえる。すなわち、簡単な日常生活や単純作業すら遂行することが不可能となったり、あるいは支障を来すことになるのである。

ところで、このことが実体験できる身近な具体例としては、悪天候時における自動車運転を挙げることができよう。濃霧、豪雨あるいは降雪等のために視界不良となり、その結果として前方及び周囲の道路情報が把握できなくなり、不安を感じた経験は誰しもあることである。道路標識や交通信号灯等、周囲の状況が即座に確認、判断できないような状況下では、いかにベテラン運転手といえども安全確保は困難となり、事故を誘発する原因ともなりかねないのである。

ちなみに1998年12月1日の早朝、福島県の磐越道で発生した事故は、濃霧による視界不良がもたらした典型的な事故としてまだ記憶に新しい。この事故においては、16台のトラック及び乗用車が追突あるいは激突し、2名の死者及び30名近くの負傷者を出した。事故当時、濃霧により視界は約30メートル程度であったと報告されている。また事故発生時刻は午前5時15分頃と、比較的交通量が少ない早朝の時間帯であったにもかかわらず、これほどまでの大事故に至っている。もし、交通ラッシュ時に発生していたらと考えると、空恐ろしい思いである。交通事故の悲惨さを改めて思い知らされた一例といえる。

それ故に、悪天候下における交通安全確保のためには視界改善、すなわちドライバーにとって十分な視覚情報が確保されるためのあらゆる工夫・対策が切に求められているのである。

一方これまで、光学系の分野においては、霧に関する研究としては主に光の散乱や吸収特性の解析等に関する論文がいくつか存在している²⁾⁻¹¹⁾。しかし、濃霧

中における色光の視覚特性並びに色覚特性について、心理物理学的手法を用いて、基礎的かつ定量的に測定した研究報告例はきわめて少ないというのが現状である¹²⁾⁻¹⁴⁾。

他方これまで筆者らは、濃霧中における『光源色』の視認特性について、心理物理学的手法を用いて、既にいくつかの基礎的データを収集してきた¹²⁾⁻¹⁴⁾。しかしながら一方では、『物体色』に対する視覚・色覚特性も今一つの重要課題といえる。すなわち、濃霧中における道路標識、看板等に対する視認特性を考えると、テスト刺激としては『物体色』を想定する必要があるのである。

そこで本研究では、これまでの『光源色』についての報告も踏まえつつ、濃霧中における『物体色』の色の見え方について、マッチング法を用いて定量的に解析することをその目的とした。

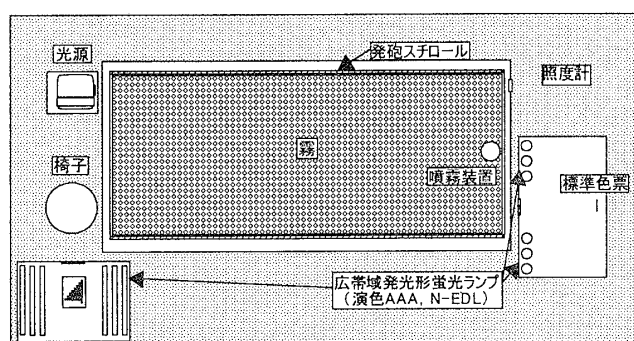
2. 実験

2.1. 実験装置

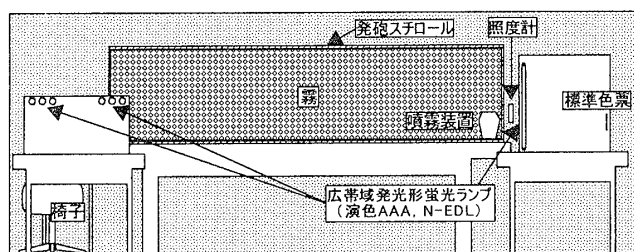
本実験に用いた装置の概要を図1に示す。(a)は平面図を、(b)は側面図を示す。各図において、中央部に位置している直方体は霧発生装置である。長さ1.8m、高さ0.45m、幅1mの発泡スチロールによる直方体のケースの両端に、アクリル板の窓を取り付けたものである。内部は余計な光の乱反射を防ぐために、アクリル板の窓以外は全て黒色に塗ってある。ケース内部には霧発生用の噴霧装置(MiniFogger MF-1、スプレーイングシステムジャパン)をセットする。また、ケースの一方の窓にはテスト刺激である標準色票及び照度計の受光器を、もう一方の窓には光源(スライドプロジェクター CABIN CS-30AF)及び被験者観測用椅子をセットした。なお、被験者が観測するところのテスト刺激用の標準色票は、霧発生装置の右側に設置されており、蛍光灯にて照明されている。

一方(a)の左上方に設置されている光源は、霧の濃度を測定するためのものであり、微小な円形の穴をあけたスライドを通して光を投射している。ただし、光源の光量は霧のない状態では照度計の指針が450lxを指し示すようにあらかじめ調整されている。

また光源からの光が濃霧中で拡散し、被験者の観測する色票からの光と重ならないよう、霧発生用ケースの幅を可能な限り広くした。さらに、光源からの光と色票からの光との間に適切な遮光板を設置し、光源からの拡散光による観測への影響を極力排除してある。



(a)



(b)

図1 実験装置図 (a)平面図 (b)側面図

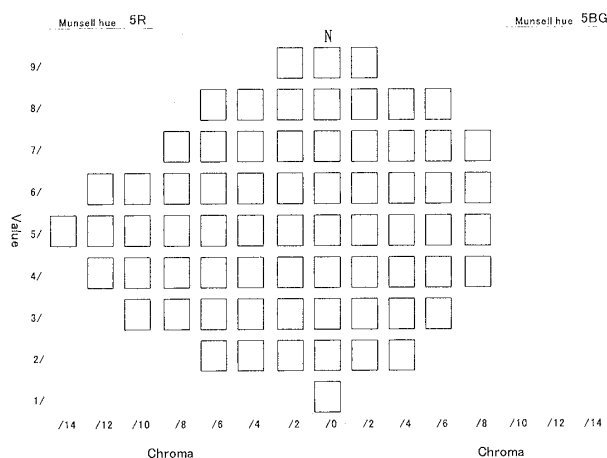


図2 マンセルカラーシート (Munsell hue 5R 及び 5BG)

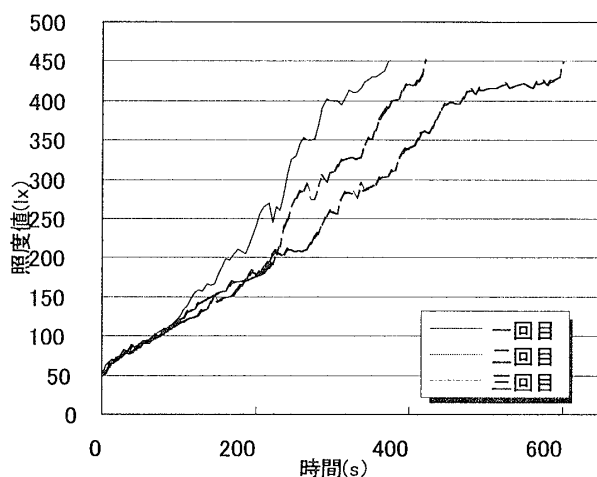


図3 経過時間と霧の濃度変化

また, (a) の左下に示す被験者観測用椅子のすぐ横には, 被験者がマッチングに使用するマンセルカラーシートをセットした。

被験者が観測するテスト刺激 (標準色票) は, 次を示す 10 種類である。なお, テスト刺激に対する視角は 60° の円形である。

H (色相)	V (明度) / C (彩度)
① 5R	5 / 14
② 5YR	7 / 14
③ 5Y	8 / 14
④ 5GY	7 / 12
⑤ 5G	5 / 10
⑥ 5BG	5 / 8
⑦ 5B	4 / 8
⑧ 5PB	4 / 12
⑨ 5P	3 / 10
⑩ 5RP	5 / 12

色票に対する照明には, 広帯域発光形蛍光灯ランプ (演色 AAA, N-EDL) を用いた。テスト色票及びマンセルカラーシートの表面照度はいずれも 1600lx に設定されている。

なお, 標準色票及びマンセルカラーシートを照射している照明光に対しては, 被験者に対する観測条件を常に一定に保つために, わずかの光も外部に漏れないよう細心の注意を払った。

次に, マンセルカラーシートの一例を図2に示す。左側には5R, 右側にはその反対色である5BGのマンセル色票が配列されている。この上に透明なOHPシートを重ねた。被験者は, 霧を通して観測したテスト刺激の見かけの色とマッチングする色をマンセルカラーシート中より選択し, その上のOHPシート上に所定の記号を付けるのである。

2. 2. 霧の濃度と測定

本実験に入る前に, 先ず予備実験として, 霧発生装置内における消霧特性について検討を加えた。実験に用いた霧の, 時間経過と濃度変化に対する測定結果を図3に示す。横軸は経過時間 (s), 縦軸は霧濃度に対応するところの照度値 (lx) である。

次に, 測定方法を以下に示す。先ず第一回目の噴霧を行い, ケース内部に十分な霧を発生させる。ただし, 照度計の目盛りが 50lx を指し示すと同時に噴霧を停

止する。同時に照度測定を開始する。すなわち、噴霧停止時から始めて5秒毎の照度値を測定するのである。そして照度値が450 lxを指し示すと同時に、言い換えれば、ケース内部の霧が全て晴れると同時に第二回目の噴霧を開始する。同じようにして、照度計が50 lxを指し示した時点で噴霧を停止し、先程と同様に、二回目の測定を実行するのである。以下同様の手順により測定した3回の測定値を示したものが図3である。

測定結果より、第一回目の噴霧では、霧の晴れるまでの時間は比較的短いことが分かる。しかし第二回目以降では、霧の晴れるまでの時間は少し長くなる傾向を示している。この原因としては、第一回目の噴霧時に比べて第二回目では、ケース内部の湿度が既に上昇しており、より飽和状態に近づいているため、消霧効果が抑制されたものと考えられる。また第三回目の特性においては、照度値が50～200 lxの範囲では、二回目のそれとほぼ重なった特性を示していることが分かる。

以上の結果より、第二回目以降の噴霧においては、50～200 lxの範囲の霧濃度はいずれも近似した、かつ比較的安定した減衰特性を示しながら変化していくことが示された。

そこで本実験においては、実験開始の前には必ず一度ケース内部に十分な霧を発生させ、第二回目以降の安定した霧濃度特性を用いて測定を行った。

なお本実験では、

- 1) 照度値30 lx以下の霧濃度にすることは不可能である。
- 2) 照度値250 lx以上では、照度値すなわち濃度の時間的変化量が大きいため、特定の霧濃度の設定が困難である。

という2点の理由により、照度値50～250 lxの範囲の霧濃度を採用することとした。

2. 3. 実験手順

実験手順を以下に示す。先ずはじめに、ケース内部に十分な濃度の霧を発生させる。次に被験者のタスクは、照度計がある特定の値を指し示したとき、すなわちある特定の霧濃度において観測したテスト刺激の見かけの色を、手元のマンセルカラーシート上の色とマッチングさせ、その中の1色を選定することである。このとき被験者の観測視野は、グレーの背景色中における色票を観測していることになる。換言すれば、本実験では霧箱の内部はほぼ暗黒に相当するため、被験

者側から見て、霧の濃度による影響は色票の輝度の変化に対応していると考えられる。

またマンセルカラーシート上にマッチングする色が無い場合、例えばある色票とある色票の中間の色、あるいは適切な割合で混合している色の場合は、その両色票の中心点を直線で結び、それを4等分し該当する点に記号を付けるという内挿をした。このとき、マッチング用色票はテスト刺激である観測用標準色票と同一色相のマンセルカラーシートを採用した。すなわち、5Rの標準色票を観測しているときは、マッチング用のマンセルカラーシートも5Rの色票を用いるのである。これは、予備実験の段階で色相方向、明度方向及び彩度方向への知覚変化の有無の測定を行った結果、いずれの被験者においても色相方向の変化が知覚されなかったためである。

このようにして、各被験者は10種類のテスト刺激色についてそれぞれ3回ずつの観測を試行した。すなわち、各テスト刺激色に対しては、5段階の霧濃度より構成されている一連の観測を1セッションとし、合計3セッションの観測を行った。被験者は7名であり、いずれも色覚正常者である。

なお、実験は全て暗室にて行った。

3. 実験結果及び考察

Munsell hue 5Rのテスト刺激に対する全被験者の実験結果を図4-1及び図4-2に示す。さらにその反対色であるMunsell hue 5BGのテスト刺激に対する全被験者の実験結果を、図5-1及び図5-2に示す。なお、(e)の被験者及び(g)の被験者は共にイニシャルがS.T.であるため、便宜上ここでは(g)の被験者のイニシャルをSe.T.とした。

いずれも、各被験者が観測したテスト刺激に対する見かけの色(知覚色)を、マッチング法を用いてマンセルカラーシート上にプロットしたものである。縦軸は明度(Value)、横軸は彩度(Chroma)を示している。それぞれのマンセルカラーシート上には、3セッションの試行より得られた測定結果をプロットしてある。すなわち、第1セッションの実験結果を白抜きシンボルと実線、第2セッションは薄い灰色シンボルと鎖線、第3セッションは濃い灰色シンボルと破線にて表示した。

パラメータである図中右上の照度値は、霧濃度を制御するために用いた、光源からの霧中透過照度である。

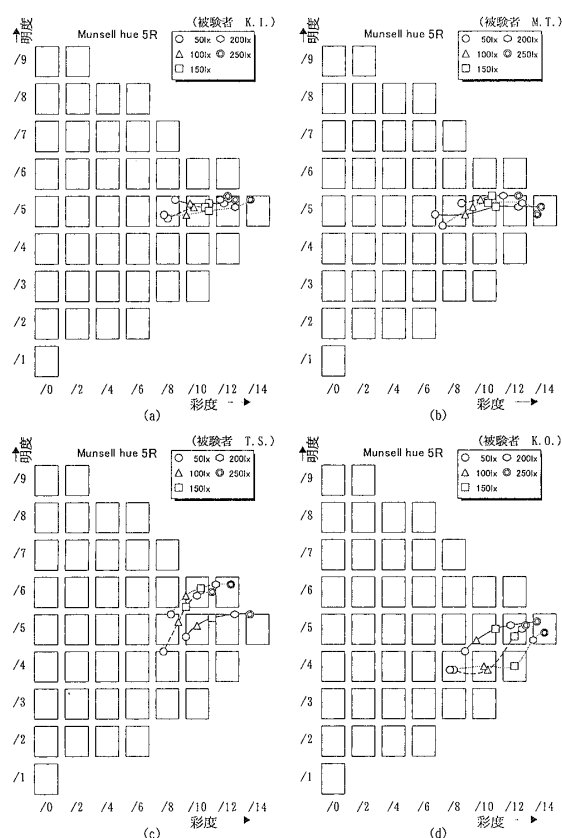


図 4-1 マンセルカラーシート上における知覚色の推移その 1 (Munsell hue 5R)

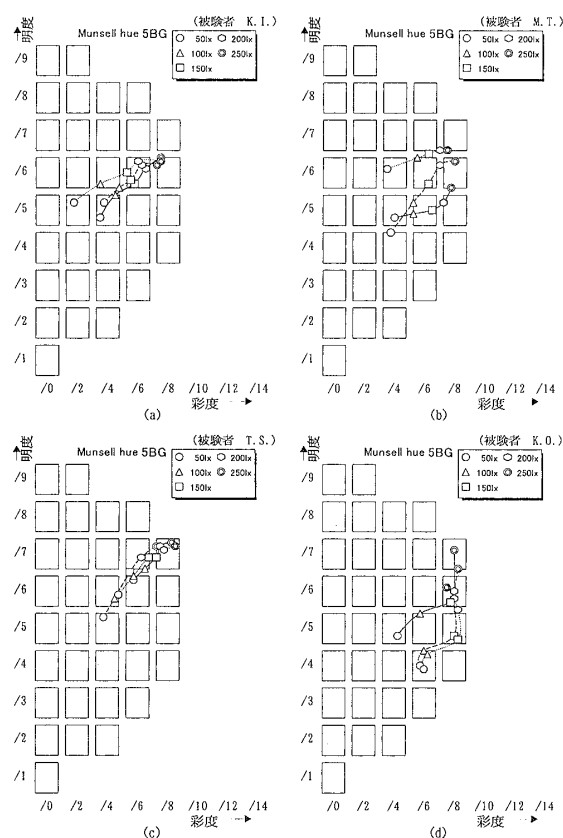


図 5-1 図 4-1と同じ、但し Munsell hue 5BG

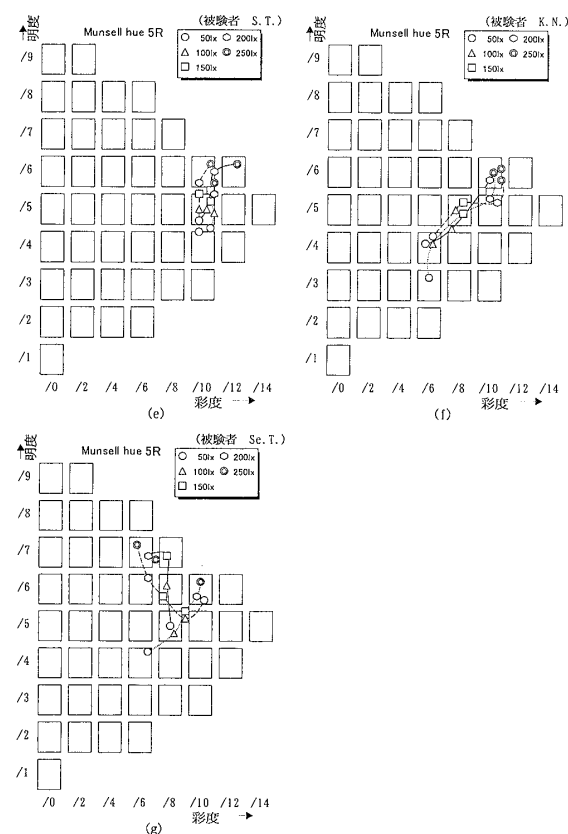


図 4-2 マンセルカラーシート上における知覚色の推移その 2 (Munsell hue 5R)

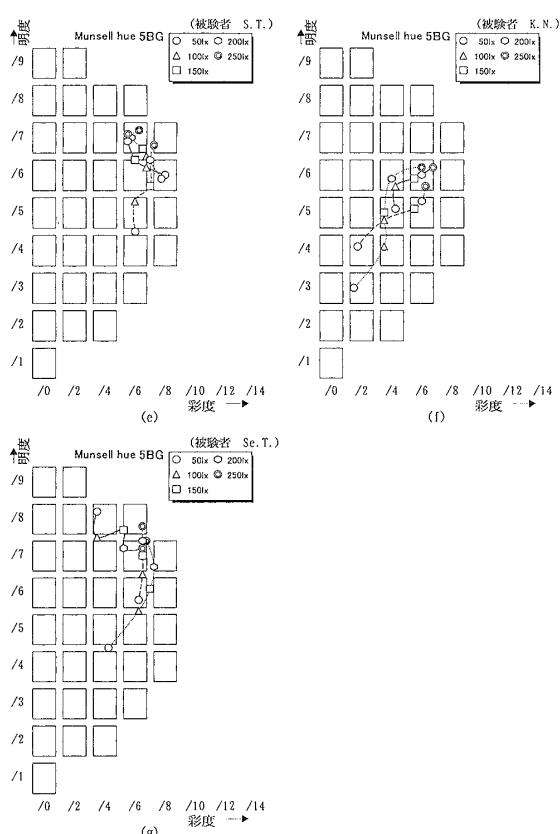


図 5-2 図 4-2と同じ、但し Munsell hue 5BG

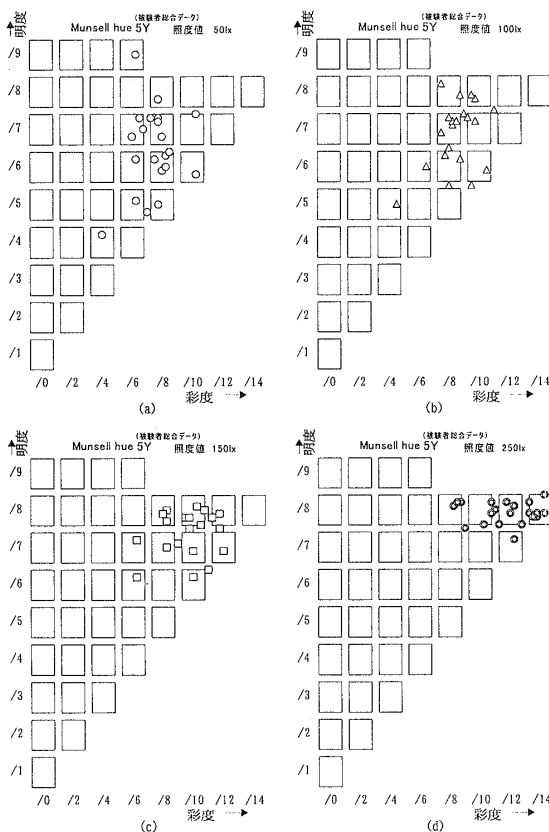


図 6-1 Munsell hue 5Y に対する被験者総合データ
(照度値 50lx ~ 250lx)

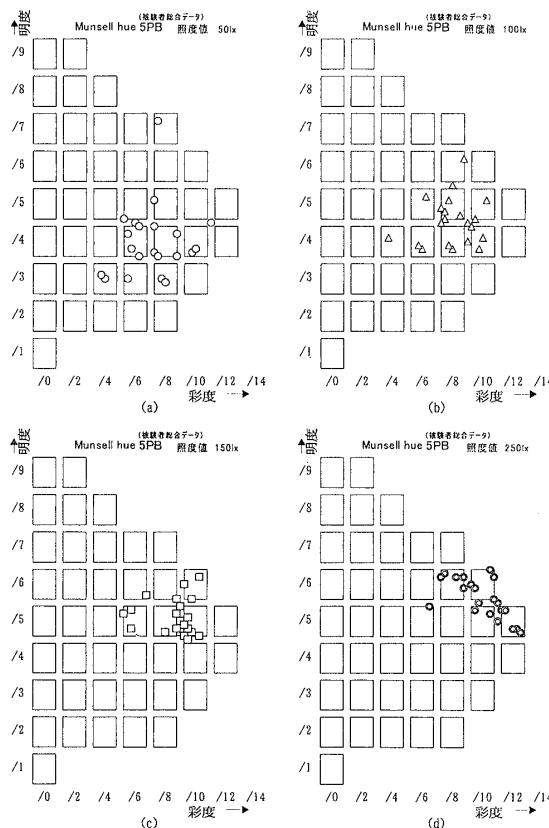


図 6-2 Munsell hue 5PB に対する被験者総合データ
(照度値 50lx ~ 250lx)

この値が小さいほど、ケース内部に発生している霧濃度は高いことを示している。ただし前述したように、霧のない状態では 450 lx を指し示すように、あらかじめ調節されている。

いずれの図においても、霧の濃度が高くなるに従い、明度あるいは彩度のいずれかが低下している、もしくは明度、彩度共に低下していることが示されている。

一方図 4-2 において、被験者 Se.T.(g) のみ他の被験者とは異なり、霧の濃度が高くなるに従い、彩度が一部増加する傾向が示されている。また図 5-2 において、被験者 S.T.(e) 及び Se.T.(g) にも一部同様の傾向が示されている。

しかしながら、その他の被験者においては、被験者間あるいはテスト刺激色間において多少のばらつきは存在するが、明度・彩度において低下する傾向を示しているということは既に述べた通りである。

一方、全体的なばらつき傾向を見るために、Munsell hue 5Y に対する全被験者のデータをまとめてプロットしたものを図 6-1 に、その反対色である Munsell hue 5PB に対するものを図 6-2 に示す。照度値 50 lx (○記号)、100 lx (△記号)、150 lx (□記号) 及び 250 lx (◎記号) の結果を示す。

Munsell hue 5Y (図 6-1) においては、照度値が 250 lx の霧濃度では、データは全体として 5Y 8/12 付近に密集している。一方 Munsell hue 5PB (図 6-2) においては、照度値が 250lx の霧濃度では、データは全体として 5PB 5/10 ~ 6/10 付近に密集している。しかしながら、いずれの図においても照度値が低下するに従い、言い換えると霧濃度が高くなるに伴って、データのばらつきは次第に拡大している。すなわち明度及び彩度の双方において、ばらつきが広がっている。また、ばらつき全体の重心については、明度及び彩度が共に低下する方向へと移行している。このことは、霧の濃度が高くなると知覚色は不安定となる、すなわちテスト刺激色に対する識別性が低下するということを示唆している。これらの傾向は、他のテスト刺激色においても同様であった。

4. まとめ

本実験結果より、霧の濃度が高くなるに従い、濃霧中における物体色に対する見かけの色すなわち知覚色は、明度及び彩度の双方において減少傾向を示すということが明らかとなった。すなわち濃霧中における知覚色は、霧の無い状態にて観測した色と比べると、全

体として $V=1$, $C=0$ の色票すなわち黒色方向に近づくことが示された。

ところで、これまでも照度や輝度レベルの違いに伴う知覚色の変化についてのいくつかの報告がなされているが^{15), 16)}, 本研究結果では霧濃度の変化に伴った色相変化は見られなかった。

霧の使用の有無をはじめとした実験条件の違いによる影響も含めて、今後の検討課題の一つとしたい。

ところで、本実験より得られたこれらの物体色に対する知見は、これまで筆者らが行ってきた、濃霧中における『光源色』に対する視認性に関する実験より得られた貴重な結果と併せて¹²⁾⁻¹⁴⁾, 濃霧中における視覚及び色覚特性を明らかにするためのヒントを提供するものと確信する。

また、本研究より得られたこれらの基礎データが、濃霧中における『物体色』の視認性に関する、基礎的並びに応用的分野における何らかの寄与となれば、筆者らの最も幸いとするところでもある。

信ビームの広がり伝達関数の測定とその伝達関数を用いたビーム伝搬解析, 照明学会誌, 82, 2, (1998), 76-83

12) 高松 衛, 中嶋 芳雄, 他: 濃霧中における色覚特性, 照明学会全国大会論文集, (1995), 189

13) 高松 衛, 中嶋 芳雄, 他: 濃霧中における光に対する色覚特性に関する研究, 電気関係学会北陸支部連合大会論文集, (1996), 51

14) 高松 衛, 中嶋 芳雄, 他: 濃霧中における色光の視認特性に関する研究, 電気学会論文誌 A, 118, (1998), 745-746

15) 石田 泰一郎, 清水 友恵, 池田 光男: 照度レベルの変化に伴う表面色の同定特性, 日本色彩学会誌, 19, 3, (1995), 121-129

16) 湯尻 照: 照度レベルによる表面色の見え方の変化: 刺激サイズの影響, 光学, 19, (1990), 97-104

(受付日: 1999年2月9日)

文 献

- 1) 松下電器照明研究所: あかりの百科, 東洋経済新報社(1992), 46-47
- 2) 正木 光, 田中 一: 大気中における光の減衰計数の算出, 照明学会誌, 47, 6, (1963), 234-239
- 3) 藤井克人, 高橋貞雄, 吉田博: 人工霧に対する色光の透過性, 照明学会誌, 49, 6号, (1965), 15-20
- 4) 納谷 嘉信: 測色の基礎(1), 光学, 10, 1, (1981), 51-57
- 5) 納谷 嘉信: 測色の基礎(2), 光学, 10, 3(1981), 203-210
- 6) 小原清成: 霧発生下における高速道路の照明, 高速道路と照明, 33, 10, (1990), 42-46
- 7) 行田 尚義: 霧の MTF 特性と標識, 照明学誌, 75, 2, (1991), 104-108
- 8) 坂本正悦, 佐々木健一: 自動車トンネル内の光幕現象と視認性, National Technical Report Vol. 38, No. 6, (1992), 643-650
- 9) Naoyoshi Nameda: Fog modulation transfer function and signal lightning, Lightning Res. Technol, 24, (1992), 103-106
- 10) 小山和孝, 西山英夫: トンネル内大気分光透過性に関する検討, 照明学会誌, 80, 5, (1996), 311-318
- 11) 椎名 達雄, 池田 紘一: 霧中を伝搬するレーザー送

著者紹介



たかまつ まちる
高松 衛

1973年2月27日生
平成9年3月富山大学大学院修士課程修了
日本色彩学会, 日本光学会, 日本眼光学学会, 交通工学研究会
工学修士

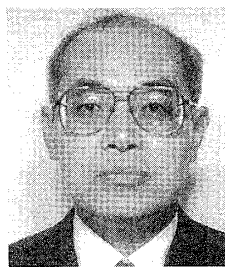
富山大学大学院博士課程在学中



なかしま よしお
中嶋 芳雄

1950年2月27日生
昭和55年3月東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻博士課程修了
日本色彩学会, 照明学会, 電気学会, 日本光学会, 応用物理学会,

日本人間工学会,
工学博士
富山大学工学部教授



いづか まさゆき
飯塚 昌之

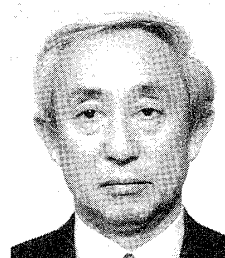
1940 年 12 月 8 日生

昭和 40 年名古屋工業大学第 2 部電
気工学科卒業

日本色彩学会，照明学会，電気学
会，電子情報通信学会，レーザー
学会，日本建築学会

工学博士

東京工芸大学工学部教授



よしはら しん
吉原 紳

1941 年 10 月 21 日生

昭和 40 年 3 月 2 日本体育大学体育
学部体育学科卒

日本体力医学会，日本体育学会
聖マリアンナ医科大学助教授