

# 高齢者の視覚特性を考慮した照明視環境の基礎検討

平成11年 3月31日

社団法人 照明学会

視覚特性の年齢効果に関する特別研究委員会

# 高齢者の視覚特性を考慮した照明視環境の基礎検討

照明学会「視覚特性の年齢効果に関する特別研究委員会」報告

## 目次

	頁
第1章 序論	
1. 1 委員会の目的	1
1. 2 「視覚特性の年齢効果に関する研究調査委員会」の構成及び活動内容	1
1. 3 「視覚特性の年齢効果に関する特別研究委員会」の構成及び活動内容	3
1. 4 報告書内容の概要	5
1. 5 謝辞	5
第2章 視覚特性の加齢効果に関する文献調査結果について	
2. 1 加齢による視覚特性の変化に関する基礎研究について	6
2. 1. 1 加齢に伴う視覚系の経年変化	6
2. 1. 2 分光感度特性の変化	8
2. 1. 3 加齢に伴う色の見えの変化	9
2. 1. 4 まとめ	10
2. 2 高齢者の色の見えの基礎研究について	12
2. 3 高齢者の視覚特性と視認性について	17
2. 3. 1 高齢者の視覚の時空間周波数特性	17
2. 3. 2 周波数領域における視覚特性	18
2. 3. 3 高齢者にとって視認性の高い表示とは	19
2. 4 水晶体加齢モデルと瞳孔径データ	22
第3章 第3章 高齢者視覚研究の実例について	
3. 1 高齢者視覚シミュレーションの問題点	26
3. 2 計算シミュレーションの原理	29
3. 3 加齢に伴う水晶体黄変が色覚特性に及ぼす効果	32
3. 4 高齢者の視覚機能計測	35
3. 5 高齢者の視覚特性を考慮した視認性評価法	38
3. 7 被験者実験に基づく高齢者の等視力曲線に関する研究	44
3. 8 研究報告 デザイナーの立場から	47
3. 9 視認性に基づく非常用照明の照度基準の検討	50
3. 10 光源光色の生理学的影響について	53

第4章 高齢者に関する内外の研究動向	
4. 1 高齢者照明の問題の動向	56
4. 2 政府研究機関の高齢者プロジェクト	59
4. 3 加齢工学研究所紹介を含む各国の高齢者研究への取り組み	61
4. 4 HQLにおける高齢者身体機能データベース事業	63
4. 5 学会における動向 学会参加報告	65
4. 5. 1 ARVO' 97	65
4. 5. 2 ARVO' 98	66
4. 5. 3 IEA' 97	68
第5章 住宅所要照度と視覚特性の年齢効果に関する実験	
5. 1 住宅所要照度の測定	69
5. 1. 1 実験概要	69
5. 1. 2 測定結果	73
5. 2 順応状態および光源の色温度の違いが快適照度、最低照度におよぼす影響	80
5. 2. 1 快適照度	80
5. 2. 2 最低照度	81
5. 3 照明の色温度によるコントラスト感度の測定	83
5. 3. 1 実験概要	83
5. 3. 2 測定結果	84
第6章 視覚特性の年齢効果を考慮した住宅における適正照度の検討	
6. 1 視覚特性の加齢効果シミュレーション	90
6. 1. 1 水晶体と瞳孔の年齢変化から導出した高齢者の網膜到達照度	91
6. 1. 2 輝度差弁別閾の加齢効果	94
6. 1. 3 高齢者と若年者の空間周波数特性 (MTF)	102
6. 2 住宅所要照度に関する実験データの分析	105
6. 3 まとめ	111
第7章 高齢者問題の現状と将来展望	
7. 1 高齢者視環境設計における配慮要因と将来展望	113
7. 1. 1 高齢者の視認性と視環境設計	114
7. 1. 2 高齢者の色覚特性と視環境設計	118
7. 1. 3 高齢者のグレア特性と視環境設計	122
7. 2 応用現場における現状と課題	125
7. 2. 1 住宅照明の現状と課題	125
7. 2. 2 色情報の活用の効果と課題	128
7. 2. 3 フラットパネルディスプレイの国際規格と課題	133
7. 2. 4 高齢ドライバーの現状と課題	135
7. 3 高齢者問題の現状と将来展望 総括	137

第6回委員会（平成9年9月12日）

1 国際人間工学会（フィンランド）参加報告

2 高齢者の読みにおける眼球運動の測定について

3 色情報の有効活用と高齢者について

第7回委員会（平成9年11月27日）

1 液晶ディスプレイの国際基準について

2 水晶体の加齢効果シミュレーション結果について

3 高齢者照明の問題と課題について

第8回委員会（平成10年3月16日）

1 高齢者ドライバ調査とHIDランプ開発について

2 高齢者照明実験計画について

平成10年3月16日には照明学会視覚研究専門部会と共同で、公開研究会を開催した。

1. 3 「視覚特性の年齢効果に関する特別研究委員会」の構成及び活動内容

平成10年4月～平成11年3月の1年間は、特別研究委員会として活動を行なった。人員構成は以下の通りである。

委員長	岡嶋 克典	防衛大学校
幹事	岩井 彌	松下電工株式会社
幹事	氏家 弘裕	工業技術院生命工学工業技術研究所
幹事	栗木 一郎	東京工業大学
幹事	高橋 好正	東芝ライテック株式会社
委員	石田 泰一郎	京都大学
委員	岩田 三千子	摂南大学
委員	内川 恵二	東京工業大学
委員	菊地 里子	株式会社東芝デザインセンター
委員	佐藤 千穂	株式会社資生堂（前職）
委員	田村 徹	東京工芸大学
委員	土井 正	大阪市立大学
委員	西田 尚代	大和ハウス工業株式会社
委員	福田 亮子	慶應義塾大学（ドイツ・ミュンヘン工科大学）
委員	舟川 政美	日産自動車株式会社
委員	向 健二	松下電子工業株式会社
委員	望月 正人	いすゞ自動車株式会社
オブザーバ	東 吉彦	東京工芸大学
オブザーバ	江上 真弘	日産自動車株式会社
オブザーバ	坂井 由花	東洋紡績株式会社
オブザーバ	淵田 隆義	東芝ライテック株式会社

当特別研究委員会では、「実験分科会」と「応用問題分科会」という2つの分科会を設置し、本委員会（親委員会）では各分科会報告を中心に、総合的な議論を展開した。

「実験分科会」では、分科会主査を中心に実際に高齢者と若年者を対象にした照明及び視覚実験を企画・準備・実行するとともに、実験データの整理ならびに分析を担当した。「応用問題分科会」では、視覚の年齢効果に関する様々な応用問題に関連する3つのトピックス“視認性”，“色の見え”，“グレア”について重点的に調査を行なった。両分科会のメンバー構成は以下の通りである。

#### 「実験分科会」

主査	岩田 三千子	摂南大学
メンバー	岡嶋 克典	防衛大学校
メンバー	岩井 彌	松下電工株式会社
メンバー	氏家 弘裕	工業技術院生命工学工業技術研究所
メンバー	栗木 一郎	東京工業大学
メンバー	高橋 好正	東芝ライテック株式会社
メンバー	石田 泰一郎	京都大学
メンバー	土井 正	大阪市立大学
メンバー	西田 尚代	大和ハウス工業株式会社
メンバー	向 健二	松下電子工業株式会社
メンバー	坂井 由花	東洋紡績株式会社

#### 「応用問題分科会」

主査	高橋 好正	東芝ライテック株式会社
メンバー	岡嶋 克典	防衛大学校
メンバー	岩井 彌	松下電工株式会社
メンバー	氏家 弘裕	工業技術院生命工学工業技術研究所
メンバー	石田 泰一郎	京都大学
メンバー	菊地 里子	株式会社東芝デザインセンター
メンバー	佐藤 千穂	株式会社資生堂（前職）
メンバー	田村 徹	東京工芸大学
メンバー	西田 尚代	大和ハウス工業株式会社
メンバー	舟川 政美	日産自動車株式会社
メンバー	向 健二	松下電子工業株式会社
メンバー	望月 正人	いすゞ自動車株式会社
メンバー	江上 真弘	日産自動車株式会社
メンバー	坂井 由花	東洋紡績株式会社
メンバー	淵田 隆義	東芝ライテック株式会社

本委員会（親委員会）は計5回開催し、毎回の分科会報告の他にも、以下のような議題を取り扱った。

第1回（通算第9回）委員会（平成10年4月23日）

1 委員会における実験の計画について

第2回（通算第10回）委員会（平成10年9月29日）

1 ARVO'98 報告

2 高齢者の視認性評価方法について

3 瞳孔径を考慮した照明シミュレーションについて

第3回（通算第11回）委員会（平成10年12月22日）

1 高齢者の水晶体分光濃度変化を模擬した色覚加齢効果

2 被験者実験に基づく高齢者の等視力曲線

第4回（通算第12回）委員会（平成11年3月1日）

1 光源光色の生理学的影響について

2 実験データの分析結果について

第5回（通算第13回）委員会（平成11年3月25日）

1 各分科会活動総括

2 推奨照度の提案について

#### 1. 4 報告書内容の概要

当報告書は、以上の3年間にわたる委員会活動の内容をまとめたものである。序論に続き、第2章（主査：栗木）では国内外の視覚加齢効果に関する基礎文献の調査結果についてまとめている。第3章（主査：氏家）は、当委員会内において報告された各委員自身が行なった研究内容をまとめたものである。第4章（主査：氏家）では、高齢者に関する国内外の研究動向についてまとめている。また、第5章（主査：岩田）は特別研究委員会における実験分科会の報告内容を中心に、実験の方法ならびに実験データについてまとめたものである。第6章（主査：岩井）では、第4章までに取り上げた研究調査内容を考慮しながら第5章の実験データについて様々な考察を加え、高齢者対応の照明を設計する際に指針となるであろういくつかの提案について述べている。最後に、第7章（主査：高橋）では、応用問題分科会報告を中心に、高齢者問題の現状と将来展望等についてまとめている。視覚の加齢効果と高齢者照明に関する膨大な情報の中から、比較的最近の重要なエッセンスを取り出し、基礎から応用にかけてコンパクトにまとめあげた本書が、高齢者に優しい照明環境の実現のために少しでも役に立てば幸いである。

#### 1. 5 謝辞

当特別研究委員会は、照明学会から学会内研究助成をいただきました。東芝ライテック株式会社、松下電工株式会社、松下電子工業株式会社からは、実験用の照明器材を提供していただきました。摂南大学工学部建築学科岩田研究室の学生の皆様には、被験者と実験者の協力をいただきました。HQLならびに立命館大学の池田光男先生にも、調査活動においてご協力いただきました。ここに深く感謝いたします。（岡嶋克典）

## 第2章 視覚特性の加齢効果に関する文献調査結果について

### 2.1 加齢による視覚特性の変化に関する基礎研究について

加齢による色覚特性については Weale の著書(*The Aging Eye*)<sup>2)</sup>および, Werner ら<sup>1)</sup>の解説論文に詳しい. 加齢に関する心理物理学的な研究が行われている研究機関の数は少ないが, 特に多くの研究が Werner らの研究室で行われている.

#### 2.1.1 加齢に伴う視覚系の経年変化

##### 眼球における分子再製と細胞死

加齢に伴う視覚特性の変化には, 眼球光学系, 神経系の変化の寄与がある. 眼球の構成要素のほとんどが新陳代謝によって日々変化している. 表1にその再製の周期を記す<sup>1)</sup>.

しかし, 物質の再製は不完全であり, 時折組成の変化した有害物質を生じることもある(lipofuscin など). 一方で細胞がランダムに死ぬ現象もある. 細胞の死は高齢者に特有の現象ではなく, 誕生の前から始まる. 網膜の神経節細胞に限定すれば 20歳から 80歳で約 25%(年間約 5,637 個)が減少するといわれている<sup>1)</sup>. LGN(外側膝状体)に投射する神経細胞の網膜での密度は, 傍中心窩および周辺視野における視力と高い相関を持っていると考えられているため, 網膜神経節細胞の死は高齢化に伴う視力の低下に関連している可能性が高い.

##### 加齢に伴う網膜照度の低下

眼球光学系における吸収・散乱・反射特性の加齢による変化は網膜照度の低下を招く. 中でもレンズや角膜による吸収の変化, 老人性縮瞳などが要因であると思われる.

水晶体(レンズ)の分光吸収率は加齢に伴って変化し, 特に短波長の領域において顕著である. 分光透過率の変化の詳細については 2.4 節において詳述されているが, 加齢に伴う相対分光特性の変化を示す Pokorny et al. による二相性の関数(two factor model)は 60 歳

表 1. 眼球の分子再製周期<sup>1)</sup>

細胞の種類	再製周期
角膜上皮	7 日
房水	1~1.5 時間
レンズたんぱく質	基本的に再生せず
硝子液	循環
桿体外節	9~13 日
神経節細胞	
軸索終端	1 日未満

までの緩やかな濃度の上昇と 60 歳以降の急激な濃度の上昇を線形モデルで表した。非線型関数を用いたモデルも存在するが、その非線型性は 70 歳以上の急激な上昇を近似するために導入されているものである。65 歳以下の光学濃度の変化は主としてレンズ厚の線形な増大によるものであると報告されており、65 歳以降の急激な変化は若干の白内障データを含んでいたためと思われる。

白内障はレンズを構成しているタンパク質の加齢による編成で白い小さな塊 (particle) が発生することによって生じる。この白い粒が光を反射・散乱することにより、網膜に到達する光の強度の現象と、眼球内での光の散乱が生じる。散乱光は不快グレアとよばれる現象を引き起こし、例えば光源に正対する位置に眼球があると白い光の幕がかぶったような見えを生じる。不快グレアについては応用問題の章において詳述される。

眼球光学系の中で、短波長を吸収する物体として黄斑色素が挙げられる。黄斑色素は短波長光の吸収率が高く、透過光が黄色く見える。黄斑色素は中心窩付近の 5 deg の領域に主に見られ、その外側では濃度が低い。黄斑色素の濃度は生後 2 ~ 3 年で一定になり、加齢による系統的な変化はよりも、むしろ個人差の方が大きいとされている。

#### 加齢に伴う錐体感度の低下

視覚的な能力低下の一因として、錐体そのものの感度の低下が考えられる。少なくとも 2 カ月の幼児には 3 種類の錐体が存在することが判明しているが、短波長に感度のピークを持つ S-錐体の感度は 6 ~ 8 歳まで大人と同じにならないことが分かっている。

加齢に伴う視覚特性の変化が錐体自体の感度低下によってどのように影響されているか調べるため、背景光の上に標的とする錐体のみを刺激するような光を提示し (two color threshold method: 二色閾値法)、様々な波長で測定した感度を錐体感度に換算した。

錐体間での感度変化には有意な差はみられず、3 錐体の感度の変化は加齢に伴ってほぼ平行線をたどっている。すなわち、錐体そのものの感度については 3 錐体の間のバランスには変わりがないものと思われる。従って、色覚特性の変化に最も大きな影響を及ぼすと考えられるのは、眼球内のレンズの黄変による短波長光の吸収率の変化、もしくは神経系の結合特性の変化であろうと推察される。

## 紫外線への露光による視覚感度の低下

紫外線は生体分子を変性させるエネルギーを持っており、眼球光学系もその例外ではない。眼球光学系の透過率は眼球を光に暴露することによって促進される。分光吸収率の特性から、短波長に感度のピークを持つ S-錐体は L-, M-錐体に比べて紫外領域の感度が高いことから、紫外線の影響を受けやすいと考えられる。この紫外線への暴露による錐体感度の低下は年齢に関係なく生じる。Werner and Steele (1988) は白内障の患者の左右眼に UV absorbing のレンズとそうでないレンズを入れた場合の左右眼の感度変化の 5 年間での差を測定し、比較した。S-錐体感度の変化は他の錐体に比べて大きく、5 年間での変化の左右比は 1.3~8.3 倍にわたった。最も差の小さかった被験者は外出時に常にサングラスを掛ける人であったという事実からも、紫外線が錐体そのものの変性に影響を及ぼしていることが明らかであると考えられる。

## 網膜照度の低下に伴う色弁別能の変化

加齢に伴う眼球光学系の変化の中に、レンズの混濁と老人性縮瞳があることは先に述べた。この結果、錐体に照射される光の強度（網膜照度）が低下し、微妙な光の差を見分けられる能力が低下している可能性が考えられる。Knoblauch ら<sup>4)</sup>は加齢に伴う色弁別能力(Fansworth-Munsell 100 hue test)の変化を様々な照明光強度の下で測定する実験を行った。その結果照度を低下させると、若齢者でも色弁別能力が高齢者とはほぼ同じレベルに低下することを示した。しかしながら、その照度レベルの違いは 1800-lx に対して 5.7-lx (約 300 倍) と大きく異なり、単なる網膜照度の低下(数倍~数十倍)だけではこれだけの差は説明できないため、加齢による神経系の変化も要因の一つであると考えられる。

### 2.1.2 分光感度特性の変化

色覚特性を調べる方法の一つとして分光感度の測定が古くから行われてきた。Kraft and Werner<sup>5)</sup>は加齢に伴う相対分光感度の変化について、眼球光学系の影響などを詳細に考慮した実験を行った。

19 歳から 85 歳の被験者を、各 10 年代ごとに 5~10 人用いた。被験者は全員眼科の既往歴がなく、色覚が正常であることも確認されている。実験は Maxwell 視光学系を用い、交照法 (Hetero-chromatic Flicker Photometry; HFP) 分光感度ならびに明るさ (Hetero-chromatic Brightness Matching; HBM) 分光感度の測定を行った。650nm 光

を参照光とし、測定は 400-700nm において 10nm 刻みで行われ、被験者は強制二者選択法 (2AFC) によって応答した。いずれも 3 秒間の刺激呈示 - 3 秒間の ISI の繰り返しによって行った。

彼らの実験結果における HFP, HBM の各年代の平均の相対分光感度 (log relative quanta efficiency) は平均値であり、実際には同年代内でも被験者間の差は存在し、平均値における世代間の差よりも大きい場合もあった。

網膜到達光における HFP 分光感度は基本的に L-, M-錐体分光感度の足しあわせによって決まることから、L-, M-錐体分光感度の足しあわせ以外の個人差はレンズや黄斑色素を含んだ眼球光学系の個人差であると考えられる。そこで Kraft らは、黄斑色素や眼球光学系を L-, M-錐体分光感度と実際の実験結果の間の差であるとみなし、HFP 分光感度から各被験者の濃度の推定を行った (3.6 節参照)。その結果、測定結果は L-, M-錐体の分光感度と眼球光学系の濃度によって高い精度で近似することができた。

一方、HBM 分光感度は錐体感度の包絡線などの単純な組み合わせでは求められないが、少なくとも HFP で求めた各被験者の眼球光学系の濃度から、網膜到達光のレベルでの分光感度を推定することは可能である。Kraft らは HBM 分光感度から眼球光学系濃度の影響による成分を差し引き、網膜到達光の各被験者の分光感度を算出し、世代ごとに平均を取った。その結果、420-560nm において相対的に分光感度の上昇がみられた。この波長域は S-錐体が感度を持っている領域であり、特に加齢によって網膜到達光の強度が減少する波長域でもある。この結果から、Kraft らは S-錐体に接続している神経系が信号の強度を増幅するような変化を加齢に伴って引き起こしているのではないかと推定している。

### 2.1.3 加齢に伴う色の見えの変化

相対分光感度の測定自体には色の見えそのものの評価は含まれていない。しかし、各波長に対する感度のバランスが変化することは、色の見えに変化を及ぼす可能性を含んでいる。

Werner ら<sup>6)</sup>は Maxwell 視光学系を用いてユニーク青とユニーク黄の波長を特定し、その二つの光の混色比を変えることによって、被験者にとってどのような波長構成の光が白色に見えるかを測定した。11 歳から 78 歳までの色覚正常な被験者 50 名を用い、上記の方法でユニーク白色の測定を行った。加齢によってレンズの黄変が生じ、短波長光 (ユニーク青) の吸収が増大することから、眼球光学系の分光特

性から予測される結果としてはユニーク黄の強度成分に対するユニーク青成分の上昇、すなわちユニーク白色の青方向の強度成分の上昇が予想される。綿密な実験を行った結果、加齢によって有意にユニーク白色が移動するという結果は得られなかった。つまり、白色の物体は年を取っても白く見える、ということを実験によって明らかにしたのである。

Shefrin ら<sup>7)</sup>は白色以外の色の見えについて、OSA 色票を用いて実験を行っている。平均年齢 21.3 歳 (15.3~28.7 歳) の被験者 15 名と、平均年齢 71.9 歳 (64.2~77.6 歳) の被験者 15 名の二つの色覚正常な被験者グループにおいて同じ色票を呈示し、色の見えをカラーネーミングによって応答させる方法で主観的な色の見えの評価を行った。被験者はグレイの背景上に呈示された色票の色の見えを、色味成分の大きさと赤、緑、青、黄色の 4 つの成分の大きさとで応答する。もしも、色票のように単色光ではない、日常的に存在するような広帯域の波長成分を含んだ物体の色の見えが加齢によって変化していたら、それぞれの色の成分の比率が変化することが予想される。例えば、オレンジは赤と黄色の成分を含むが、加齢によるレンズの黄変によって色の見えに黄色みが増していたとすると、赤の成分が減少し、黄色の成分が増加するような傾向がみられるはずである。実験結果は、若齢者と高齢者において色味の成分の比率、すなわち色相に有意差が現れなかった。しかし、高齢者グループにおいては色味成分の減少がみられ、全体に色の鮮やかさ (彩度) の低下が生じていることが明らかにされた。

#### 2.1.4 まとめ

これまでで紹介した、色覚特性の加齢による変化に関する基礎研究の結果をまとめると以下のことが明らかになる。眼球光学系の部品は日々代謝によって変化している。老人性縮瞳や網膜神経節細胞のランダムな死滅などは、網膜への光の照度低下、空間周波数に対するコントラスト感度の低下などを招いていると考えられる (2.3 節参照)。

加齢に応じて最も色覚に大きな影響を与えると考えられるのはレンズの黄変であり、特に短波長光の網膜への到達が減少することが明らかにされている。分光感度については、HFP 分光感度は被験者の眼球光学系の特性の変化を直接的に反映していたが、HBM 分光感度では加齢による神経系の補正とみられる現象が観察された。若齢者と高齢者が色の見えを主観的に評価する基礎研究の結果からは、彩度の低下は報告されているものの、色相に関しては加齢に伴う色の見えの有意な変化 (黄変

など)は報告されていない。

つまり、人間の視覚系の中では、眼球光学系の加齢による変化(特に水晶体の黄変)と適応による神経系の経年変化が相互にバランスを取り合い、加齢によって色の見えに大きな変化が生じないように、時間的スパンの長い、一種の色恒常性的メカニズムが作用していることがこれまでの基礎研究によって明らかにされてきた、ということが出来る。

#### 参考文献

- 1) Werner, J.S., Peterzell, D.H, and Scheets, A.J., Light, Vision and Aging. *Optometry and Vision Science*, **67**, 214-229, 1990.
- 2) Weale, R.A. *The Aging Eye*, London: H.K.Lewis, 1963.
- 3) Pokorny, J., Smith, V.C., Lutze, M. Ageing of the human lens. *Appl.Opt.*, **26**, 1437-40, 1987.
- 4) Knoblauch, K., Saunders, F., Kusuda, M., Hynes, R., Podgor, M., Higgins, K.E., deMonasterio, F.M. Age and illuminance effects in the Farnsworth-Munsell 100-hue test. *Appl. Opt.*, **26**, 1441-8, 1987.
- 5) Kraft, J.M. and Werner, J.S., Spectral efficiency across the life span: flicker photometry and brightness matching. *J.Opt.Soc.Am.A*, **11**, 1213-1221, 1994.
- 6) Werner, J.S. and Shefrin, B.E., Loci of achromatic points throughout the life span. *J.Opt.Soc.Am.A*, **10**, 1509-1516, 1993
- 7) Shefrin, B.E. and Werner, J.S., Age-related changes in the color appearance of broadband surfaces. *Color Research and Application*, **18**, 380-389, 1993.

(栗木一郎)

## 2.2 高齢者の色の見えの基礎研究について

色の見えに関しては、高齢になると水晶体の褐色化（黄色化）が進み、青に対する感度の低下が起こり、特に青色領域で色の見えに変化をきたし、それは若年者が黄色フィルターを通して物を見るのと類似するような解釈もなされている<sup>1)</sup>。これらは主に、老人性白内障患者の知覚特性より推測されているようだ。しかし、実際の健常な範囲での高齢者の色の見えが、その通りであるかは疑問である。水晶体の褐色化は20年、30年と長い時間をかけて進むので、その間に色順応を起こして白内障患者の色の見えほどの変化が生じずに、加齢によってもある程度一定の色の見えが確保されることも考えられる。

そこで、ここでは健常者を対象として色の見えの加齢変化を捉えるために行った2つの実験を紹介する<sup>2)</sup>。1つ目は20代と50代から70代の被験者70名による100HUEテストであり、2つ目は10代から50代の被験者200名によるNCS表色系を使ったカラーネーミング法の実験である。100HUEテストからは色弁別の加齢変化を、カラーネーミング実験からは同一色票の色の見え（感じ方）の加齢変化を捉え、両者の実験結果の比較から、実際の加齢による色の見えについての把握を試みた。

### 100HUEテストの実験

日本色彩研究所製100色相配列検査器（ND-100）を用いて実験を行った。この検査器は、CIE 1964均等色空間上で標準光源Cで照明したとき、隣り合う色の色差が1となる明度6の100種類の色コマから構成され、25個ずつ4本のサオ型操作板（サオ1：赤～緑、サオ2：緑～青、サオ3：青～紫、サオ4：紫～赤と各サオでは色が変化している）に分けられたものである。

実験は、通常のオフィス空間をD50色評価用蛍光ランプで照明し、N6グレーの台紙上で被験者が各サオの色並べを行った。机上面照度は900～1000ルクスである。100個の色コマを接触型分光測色機で測定し、D50色評価用蛍光ランプ下での色データを求め、実験観察環境でも色コマの色変化は主に色相によるものであることを確認した。隣り合う色コマの平均色差は0.94で、平均色相差は0.8であった。

健常な範囲での加齢データを採取するために、実験に参加した被験者（女性）の中で、色付き眼鏡の使用者や白内障の手術を既に行った者、さらに眼科に通院している方は対象から外し、その結果有効被験者数は20代16名、50代19名、60代19名、70代16名であった。またSPP標準色覚検査表を用いて、全被験者が色覚正常者であることを確認した。

実験は通常の100HUEテストの手順で行ったが、被験者に高齢者が多いことを考慮して、色並べの制限時間を3分30秒とし、さらに実験に入る前にサオ4を使って色並べの説明及び練習を行った。その後、サオ1から順にサオ4まで各サオ25個の色コマをバラバラにして呈示し、色が順番に変化するように制限時間内で被験者が色並べを行った。

## 結果

100HUEテストの通常の解析手順にしたがって、各被験者ごとに各サオ別のエラースコアを算出した(図 2.2.1)。エラースコアは、並べた色コマの順番が間違っているほど大きくなる。すなわち、エラースコアが大きいということは、色の識別能力が低下していることを意味する。年代ごとに各サオのエラースコアを平均した結果と各サオのエラースコアを合計したトータルエラースコアを年代ごとに平均した結果をあわせて検討した。

図 2.2.1 に示したように、どの年代においてもデータのばらつきが認められるが、20代では他の年代に比べてばらつきが小さいものの、50代以降ではほぼ同程度である。年代ごとにばらつきが大きくなることもないので、今回の実験データは加齢による色弁別の変化傾向を充分捉えていると考えられる。

どの年代でも、サオ4(紫～赤の色変化)のエラースコアが大きく、サオ1(赤～緑の色変化)のエラースコアは小さい。サオ1はエラースコアのばらつきも他のサオに比べて小さい。したがって、年代に共通して赤から緑への変化に対しては色の識別がし易いが、紫から赤への変化に対する色弁別能力が劣っていることがわかる。

図 2.2.1 に示されるように、年代が上がるごとにデータのばらつきの位置が上部に、すなわちエラースコアが大きくなっており、加齢に伴う色弁別能の低下は明らかである。各サオとも20代では他の年齢に比べて明らかにエラースコアが小さく、20代から50代及び50代から60代へのエラースコアの変化より、60代から70代の変化が著しく大きい。したがって、60歳以降に色弁別能の衰えが顕著になることが予測される。

加齢に伴うエラースコアの変化が最も大きいのはサオ4で、次いでサオ3となっている。最も変化が小さいのがサオ1である。したがって、特に紫から赤の色ついで青から紫の色で加齢による色弁別能の低下が生じると考えられる。これに対して、赤から緑へ変化する色は加齢によっても比較的色の見分けが可能なことがうかがえる。既に指摘したように、若年齢の時からサオ4のエラースコアは高く、サオ1のエラースコアは小さい。したがって、若い時から色弁別能が劣っている色変化に対しては、加齢と共にその傾向が強くなり、もともと色弁別能の高い色変化に対しては、加齢によってもその傾向は維持されると捉えることができる。

### NCS表色系を使ったカラーネーミング実験

加齢による色の見え方を把握するために、同一色を見たときの見え方、感じ方を採取し、定量的にデータの比較を行うためにはどのような方法が良いかを検討し、今回はカラーネーミング法を採用した。カラーネーミングの方法としては、NCS表色系の表記方法で色を表わすこととした。NCS表色系では黒量、純色量と色相を心理4原色である黄・赤・青・緑の構成比で表記する。

被験者は、色彩分野に携わっているわけではなく一般人であるため、表色系

や色の表記方法、カラーネーミング実験について全く理解していない。そこで、実験を行う前に方法についての説明を文書にて全被験者に行った。説明文を読んだ後でも、方法が理解できない被験者には口頭で説明を加えた。そして、実験方法を被験者が理解した後、サンプル（16色）を呈示し、被験者は1色ずつ色を見て記入用紙に「色み」「黒さ」「色の強さ（純度）」を記入した。回答するのに制限時間は与えなかったが、どの被験者も20分～30分で評価を終了している。

実験は通常のオフィス空間をD50色評価用蛍光ランプで照明し、被験者が色を観察する机上面照度は約400ルクスであった。

被験者は10代（18歳以上）から50代の女性で、色付きの眼鏡やコンタクトレンズの使用者、眼の手術を行った者、眼科通院中の方は対象外として、その結果有効被験者数は10代30名、20代60名、30代30名、40代60名、50代20名となった。20代と40代の人数が多くなっている。

サンプル16色は、NCS表色系の中から、まず色相をY, R, B, Gとそれらの中間のY50R, R50B, B50G, G50Yの8つとした。そして各色相面より黒量が同一で純色量の異なる2色S40C20とS40C50をとり、合計16色とした。これらの色を財団法人日本色彩研究所に依頼して作成した。サンプル色は25mm×25mmの大きさとし、それをN5グレーの台紙（75mm×75mm）の中央に貼って使用した。

## 結果

16色のサンプルそれぞれに対し、「色み」「黒さ」「色の強さ（純度）」を200名の被験者が回答した。そこで、サンプル1色ずつ「色み」「黒さ」「色の強さ（純度）」それぞれについて回答した被験者数の頻度分布を求め、加齢による同一色の色の見え方及び、そのばらつきを検討した。100HUEテストが主に色相による色変化に対する色弁別能の結果であったので、ここでは「色み（色相）」に対する回答結果（頻度分布）の一例として図2.2.2に4020-Y,-R,-B,-Gの結果を示す。

加齢による違いを検討するために、年代順に「色み」の認識に傾向差があるか、つまりある色を見たときに、頻度の高い「色み」の回答が年代によって一定方向にずれていたり、異なっているかと、年代によって「色み」の回答のばらつきに差があるかについて全サンプルを検討した。その結果、いずれの色に対しても、どの年代でも頻度の高い「色み」の回答は類似しており、色の見えの認識が年代順に変化する傾向は認められなかった。さらに、「色み」の認識のばらつき（回答の範囲）についても年代差は認められなかった。むしろどの年代でも同じようにばらつくため、年齢というよりは個人差と考えられる。どのサンプルでも、「色み（色相）」の回答に対して、年代によって頻度の高い回答がほぼ一致していること、また回答のばらつき具合も類似していることから、加齢による色みの認識の違いはないと考えられる。さらに、どの年代にも

共通した 8 色相に対する色みの認識及び、純色量の違いに対する認識があり、加齢によっても色の見えに一定した特徴が確保されていると考えられる。また、青色領域にある-B や-R50B では 4020-でも 4050-でも「色み」の認識のばらつきが小さく、回答に年代差が認められない。頻度の高い回答を見ると、4050-では呈示した色相にピークがあり、4020-ではピークはややずれるものの、その近くの色相を回答している。そして、青系の色をどの年代でも同じように認識している。したがって、この結果には加齢に伴う水晶体の黄色化による青色領域の色の見えの変化は感じられない。ここでは示さなかったが、「黒さ（黒量）」「色の強さ（純色量）」に対して、全サンプルの頻度分布を見ても、「色み（色相）」と同様に、加齢による違いは認められなかった。したがってこの解析からは、同一色を見たときの色の見えの加齢変化は認められず、回答のばらつきがどの年代でもほぼ同じことから、色の見えは年代による違いというよりは個人差が大きいと捉えられる。

加齢の変化は、測定結果の平均値の使用によって年齢変化を求めることもできるが、個人差が大きいことも指摘されており<sup>3)</sup>、データの取り扱い及びその解釈には注意が必要だと思われる。

#### 提言

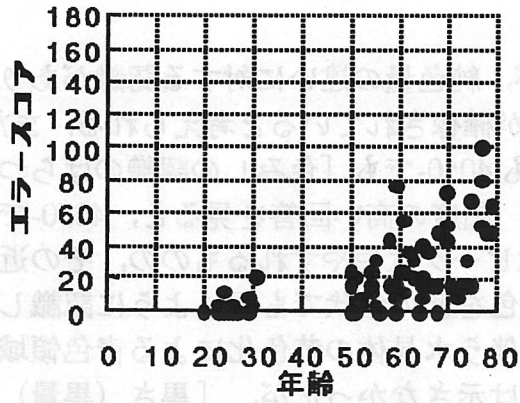
実験及び結果についてはかなり省略したため、詳しくは参考文献<sup>2)</sup>をご覧ください。高齢者の色の見えを実験してみて、100HUE テストのように色を見て判別するような実験なら、高齢であっても比較的難なく作業できるが、今回実施したようなカラーネーミング実験は、高齢者にはむいていないと感じている。今回は被験者が 50 代までであったのでデータの採取が可能であったが、それ以上に高齢では、色を見て数値に置き換えるという作業が非常に困難である。色名を答える程度の簡単な回答方法の実験でないでデータの採取は難しい。

今回実施した 2 つの実験では、100HUE テストからは色弁別能の低下に加齢変化が認められたが、カラーネーミング実験の解析結果には加齢変化は認められなかった。実験手法や、どのような観点からの色覚実験かによって加齢変化に対する結果は異なる。どのような色知覚には加齢変化が生じ、あるいは生じないのかを検討することが必要であろう。今後いろいろな視点からの実験が行われ、色の見えの加齢変化を多角的に捉え、高齢者の色の見えを予測することが大切だと感じている。

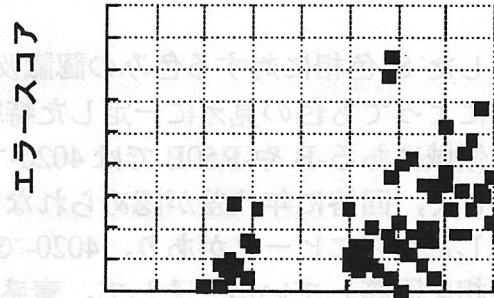
#### 参考文献

- 1) 吉田, 桜庭: 「高齢者の色覚—視界黄変化の実態とシミュレーション—」, カラーフォーラム JAPAN'96, pp.79-86 (1996)
- 2) 佐藤: 「加齢に伴う色の見えの変化」, 照学誌 82-8A, pp.530-537(1998)
- 3) 鶴飼: 「高齢者の視覚」, 照学誌 80-7, pp.463-466 (1996)

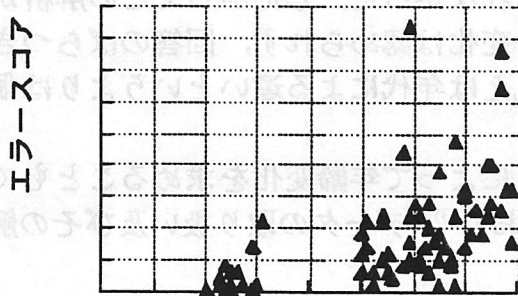
(佐藤千穂)



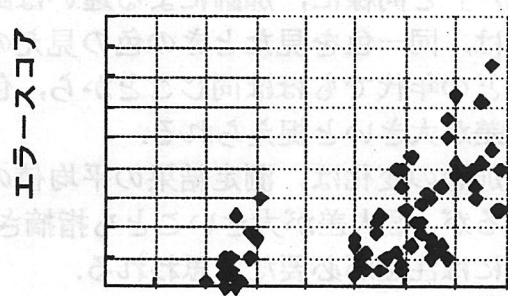
(a)サオ1の結果



(b)サオ2の結果

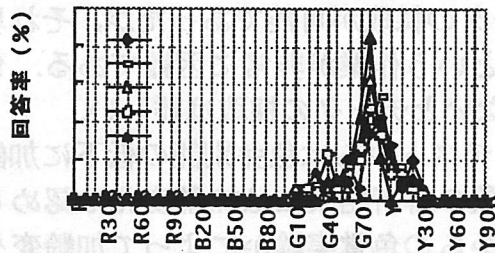


(c)サオ3の結果

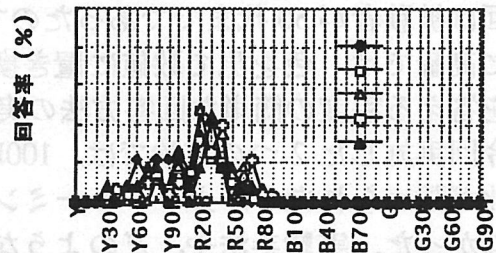


(d)サオ4の結果

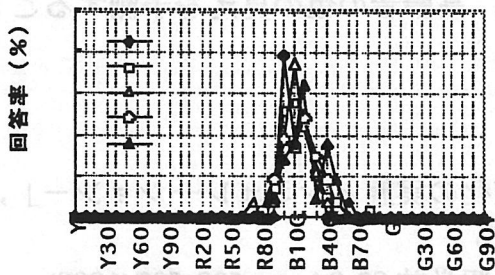
図 2.2.1 エラースコアと年齢の関係



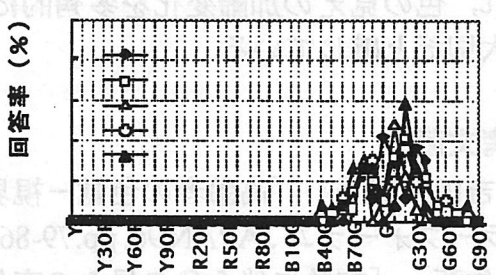
(a)4020-Yの結果



(b)4020-Rの結果



(c)4020-Bの結果



(d)4020-Gの結果

図 2.2.2 4020の結果

## 2.3 高齢者の視覚特性と視認性について

人体を構成する諸器官同様、視覚機能に携わる眼球・網膜・大脳皮質等も加齢の影響下にあり、加齢に伴う視覚の機能低下は、生涯を通じ連続的に起こる。本節では、主に視認性との関連から加齢に伴う視覚の時空間周波数特性の変化を概観し、その影響について報告する。視認性は、可視性（見える）・誘目性（見つける）・可読性（読み取る）と多層的な概念であるが、本節では、可読性・誘目性を中心に述べる。また、視認性は、観察者と視対象と視環境の三者相互の関係によって規定され、その改善には、最適な眼鏡を処方しても、照明条件を最適化しても、視対象の大きさや色などデザインを最適化しても達成されるが、ここでは、視対象の属性としての視認性について述べる。（照明に関しては、5章・6章を参照のこと）

### 2.3.1 高齢者の視覚の時空間周波数特性

コントラスト感度に対する加齢の効果を測定した研究は、加齢に伴い高中空間周波数に対する感度が低下することを示している(Sekular et al., 1982; Owsley et al., 1985; 鶴飼, 1996)。これは視力低下として間接的にも測定されている(Sturr et al., 1990)。時間周波数についても、加齢に伴うコントラスト感度低下が報告されている(Fiorentini, et al., 1996)。色コントラストについても(Fiorentini, et al., 1996)、また、周辺視においても(Casson, et al., 1993; Kooijman, et al., 1997)、薄明視や暗所視においても(Sloane, et al., 1988; Jackson, et al., 1998)、同様のコントラスト感度低下が報告されている。加齢に伴って、全体的な感度低下に併せて時空間分解能の低下、即ち、高時空間周波数選択的な感度低下が起こる。

加齢に伴う視覚の時空間周波数特性の劣化の原因は、(1) 視覚情報処理系への入力である網膜像の劣質化と、(2) 視覚入力に対する情報処理特性の低下の結果である。

網膜像の画質を規定するのは、眼光学系の光学特性と焦点調節機能である。眼に達した光は、角膜・眼房水・瞳孔・水晶体・硝子体などの媒体を順次通過し網膜上に結像する。この段階において、入力のかかなりの部分が媒体中の粒子による吸収・散乱・反射の作用を受け失われる。水晶体の黄色化などの光学濃度上昇や老人性縮瞳などの眼光学系における加齢変化は、加齢に相関した網膜照度の低下・分光組成の変化・散乱光の増加・空間周波数次元におけるローパス・フィルタリングをもたらす。これらは、視覚の時空間周波数特性に大きな影響を与える。焦点調節機能では、近点距離の延長(老視)を含む調節力と調節速度の低下など、加齢の著しい効果が認められている。これによって、視対象の運動によるぼけ(motion blur)や結像不良(defocus)によるぼけが生じ、即ち、画像を構成する高空間周波数成分が選択的に弱められる。

加齢に相関した網膜画像の変化は、1. 照度低下、2. 分光組成の変化、3. 散乱光の増加、4. 空間周波数次元におけるローパス・フィルタリング、の4つにまとめられる。照度低下は、明所視レベルで高空間周波数に対する感度低下、暗所視レベルで全体的な感度低下をもたらす(van Meeteren & Vos, 1971)。散乱光は光幕を形成し網膜像のコントラストを低下させ、空間周波数帯域全体における感度低下をもたらす。高空間周波数選択的なフィルタリングは、当然、高空間周波数に対する感度低下をもたらす。(分光組成の変化の影響については、2.2, 2.4 節参照のこと)

情報処理特性の低下を規定するのは、神経系の加齢変化である。その詳細は不明であるが、処理過程のあらゆるレベルにおいてランダムな神経細胞の欠落が起こると仮定できるなら、サンプリング特性や時空間加重や確率加重の特性劣化を予測することは合理的である。網膜上の視細胞による網膜像のサンプリングは、視力の上限を規定しており、また、時間加重の臨界時間の延長や空間加重の臨界面積の拡大は、そのまま時間分解能低下、空間解像度低下と同義である。神経ネットワーク構造の可塑性という性質も、加齢と無関係ではありえない。L・M錐体に比べS錐体は、紫外線の影響を受けやすいと予測できるが、感度の低下などの確認はされていない。レーザー光の干渉縞を利用し眼光学系をバイパスさせてコントラスト感度を測定した研究は(Nameda, et al., 1989; Burton, et al., 1993)、相対的に小さいが有意な高空間周波数選択的なコントラスト感度低下を報告しており、神経レベルの加齢変化に帰因すると推定できる。

### 2.3.2 周波数領域における視覚特性

視認性を考える上で、視覚特性を周波数領域において捉えることが重要である(舟川, 1998)。周波数領域を、

- (a)低空間・高時間周波数領域、
  - (b)高空間・高時間周波数領域、
  - (c)低空間・低時間周波数領域、
  - (d)高空間・低時間周波数領域に
- 分け、人間の視覚系の分解能の範囲を重ね合わせると、輝度コントラストに関して、(b)高空間・高時間周波数領域は感度の範囲外であり、差異を検出することができないこと、高空間周波数に感度を持つのは(d)低時間周波数領域に限られ、高時間周波数領域では(a)低空間周波数領域に限られること、さらに、

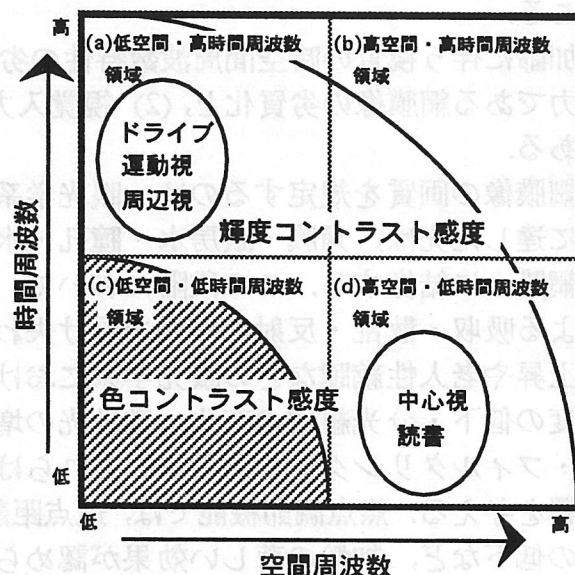


図2.3.1 空間・時間周波数領域における視感度と視作業

色コントラストに対する感度の範囲は、(c)低時間・低空間周波数領域のみであり、色彩の差異という情報には輝度コントラストに較べ明らかな限界があることがわかる。そして、前節で概観したように、加齢に伴う視機能低下や照明レベルの低下等の観察条件の劣化の影響は、多くの場合、(a)高時間周波数領域と(d)高空間周波数領域における感度低下として現れる。

さらに、周波数領域において、視覚機能に基づいた様々な作業を捉えなおすことができる。昼夜の変化など視野全体にわたるゆっくりとした明暗の変化、黄昏時の太陽光の色の変化などに気付くのは、主に(c)低空間・低時間周波数領域における感度のためである。文庫本など印刷された小さな活字を時間の制約なしに読むことは、(d)高空間・低時間周波数領域における作業である。低視力者の補助として行われる文字の拡大とは、この作業が(a,c)低空間周波数領域でも可能にするための工夫である。また、車の運転時には、(a)低空間・高時間周波数領域における視覚作業である短時間での読み取りや周辺視での読み取りが要求される。(b)高空間・高時間周波数領域における感度の欠如は、新幹線の車窓から通過駅の駅名が読めないなどの経験から知ることができる。

### 2.3.3 高齢者にとって視認性の高い表示とは

高齢者にとって何が見やすく何が見にくいかを知る上で、高齢者の見え方のシミュレーションという試みは、有意義である(3.5節参照)。これまで概観した視覚の加齢変化の一部は、画像処理や光学装置によって比較的容易に視覚化できる(舟川, 1993)。その結果得られる画像は、多かれ少なかれ黄ばんだぼやけた画像であり、微妙な青色の変化を識別できなかつたり、細かな文字を読み取ったり形態の細部の違いを識別したりできないなど、高齢者にとって利用可能な情報が減少していることを示している。

高齢者の視覚の時空間周波数特性とそのシミュレーションである黄ばんだぼやけた画像、空間・時間周波数領域における視覚特性と様々な視覚作業から、視認性の高い表示がどうあるべきかが見えてくる。即ち、視認性の高い表示とは、(a)低空間・高時間周波数領域でも読み取れる表示である。高齢者にとって見やすく、若年者であっても劣悪な観察条件下で見やすい表示、そして、緊急性と重要性の高い情報表示は、

(1)低視力で読み取れること(低空間周波数領域)

(2)短時間で読み取れること(高時間周波数領域)

という2つの要件を満たす必要がある。しかし、人間の視覚系において、空間周波数特性と時間周波数特性は独立ではなく、両者はトレードオフ(trade-off)の関係にある。空間分解能を高めるには時間分解能を下げなければならないし、時間分解能を高めるには空間分解能を下げなければならない。これは同時に、低視力でも読み取れることは、短時間で読み取れることをも意味している。

「どれだけ低視力で読みとれるか」、「どれだけ短時間で読みとれるか」は、

そのまま視認性評価のための尺度となる。その方法については、3.5 節で詳述する。ここでは、低空間・高時間周波数領域でも読み取れる視認性の高い表示、即ち、低視力でも短時間でも読み取れる表示とはどのようなものであろうか、一般論として述べる。

視認性のために輝度コントラストと色コントラストを十分に確保することは基本であるが、両者はその性質によって使い分ける必要がある。形状の認識を必要とし視力や時間分解能が要求される可読性（読み取りやすさ）は、時空間分解能が相対的に高い輝度コントラスト（輝度チャンネル）に負うところが大きい。表示を構成する文字やアイコン、針など、形状の認識が必須なデザイン要素は、まず第一に輝度コントラストを確保する必要がある。その形状が低空間周波数領域でも認識可能であるためには、形状の大きさと表示項目同志の間隔が重要である。「拡大」は、低空間周波数領域(a,c)でも読み取れるようにするための工夫である。対象の形状は、その対象のサイズに相対的に定義されるものであるから、その対象がもつ空間周波数成分は拡大によって確実に低空間周波数領域の方向へ平行移動する。さらに、その形状が文字ならば、開口部が大きく開いたオープン書体の方が、視力低下に強い(舟川と小田, 1997)。形状の開口性との関連で、文字の線幅にも、最適値が存在する。

可読性に対する色コントラストの効果は、低時間空間分解能という色チャンネルの性質から多くは期待できない。色コントラストによってのみ定義された文字は、読み取りにくく、彩度を上げることにより多少改善されても、輝度コントラストの効果には及ばない。可読性に対する効果が色相により違うか否かに、定説はない。赤・緑に較べ黄・青の分解能が低く可読性も低いという報告もあるが、實際上、可読性を決めるのは輝度コントラストである。また、輝度コントラストと色コントラストの効果の加算性の有無について、読書速度を指標とした研究では否定的である(Legge et al., 1990)。

形状の認識ではなく場所や存在の認識を意味する誘目性（見つけやすさ）は、輝度コントラストでも色コントラストでも実現できるが、視覚探索場面や視野の分節化、図と地を較べた時の図になりやすさなどにおける色コントラストの優位性が認められている。輝度コントラストが明暗の一次元の変化しかできないのに対し、色コントラストは2次元の多様な変化が可能であるし、さらに、危険・注意・安全・正常・異常といったあいまいだが直感的、情緒的な意味を伝え、「理解しやすさ」の向上にも貢献できる。

#### 参考文献

- Burton, K. B., Owsley, C., and Sloane, M. E. 1993 Aging and Neural spatial contrast sensitivity: photopic vision, *Vision Research*, 33, 7, 939-946.
- Casson, E. J., Johnson, C. A., & Nelson-Quigg, J. M. 1993 Temporal modulation perimetry: the effects of aging and eccentricity on sensitivity in normals. *Investigative*

- Ophthalmology & Visual Science, 34, 11, 3096-3102.
- Fiorentini, A., Porciatti, V., Morrone, M. C., and Burr, D. C. 1996 Visual ageing: unspecific decline of the responses to luminance and colour, *Vision Research*, 36, 21, 3557-3566.
- Jackson, G. R., Owsley, C., Cordle, E. P., and Finley, C. D. 1998 Aging and scotopic sensitivity, *Vision Research*, 38, 3655-3662.
- Kooijman, A. C., Cornelissen, F. W., Eppink, E., and Ditvoorst, H. I. A. 1997 Age-related changes throughout the functional visual field, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Abstract Book-part1, S66.
- Legge, G. E., Parish, D. H., Luebker, A., and Wurm, L. 1990 Psychophysics of reading. XI. Comparing color contrast and luminance contrast, *Journal of Optical Society of America*, A, 7, 2002-2010.
- Nameda, N., Kawara, T., and Ohzu, H. 1989 Human visual spatio-temporal frequency performance as a function of age, *Optometry and Vision Science*, 66, 760-765.
- Owsley, C., Gardner, T., Sekuler, R. and Lieberman, H. 1985 Role of the crystalline lens in the spatial vision loss of the elderly. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 26, 1165-1170.
- Parish, D. H. and Sperling, G. 1991 Object spatial frequencies, retinal spatial frequencies, noise, and the efficiency of letter discrimination. *Vision Research*, 31, 1399-1415.
- Sekuler, R., Owsley, C., and Hutman, L. 1982 Assessing spatial vision of older people, *American Journal of Optometry & Physiological Optics*, 59, 961-968.
- Sloane, M. E., Owsley, C., & Alvarez, S. L. 1988 Aging, senile miosis and spatial contrast sensitivity at low luminance. *Vision Research*, 28, 11, 1235-1246.
- Solomon, J. A. and Pelli, D. G. 1994 The visual filter mediating letter identification. *Nature*, 369, 395-397.
- Sturr, J. F., Kline, G. E. and Taub, H. A. 1990 Performance of young and older drivers on a static acuity test under photopic and mesopic luminance conditions, *Human Factors*, 32, 1-8.
- von Meteren, A. and Vos, J. J. 1972 Resolution and contrast sensitivity at low luminance. *Vision Research*, 12, 825-833.
- 舟川政美 1998 表示の見やすさわかりやすさ, *日産技報*, 41, 20-25.
- 舟川政美 1993 高齢者の視覚とそのシミュレーション, *日産技報*, 33, 72-78.
- 舟川政美・小田浩一 1997 ローパス・フィルタリング法による形状の視認性評価, *照明学会誌*, 81, 438-445.
- 鵜飼一彦 1996 高齢者の視覚, *照明学会誌*, 80, 7, 463-466.

(舟川政美)

## 2. 4 水晶体加齢モデルと瞳孔径データ

まず、水晶体加齢モデルとして、Pokorny らによって提案されている Two-factor モデル (以下 TF モデル)<sup>1)</sup>、Weale の Exponential モデル (以下 Exp モデル)<sup>2)</sup>、及び Savage らの Linear モデル<sup>3)</sup>を取り上げる<sup>4)</sup>。

TF モデルは、分光光学濃度  $L(\lambda)$  を年齢 ( $A$ ) の関数として記述しており、これを  $L(\lambda, A)$  とすると、

$$L(\lambda, A) = [1.00 + 0.02(A - 32)]TL_1(\lambda) + TL_2(\lambda) \quad \text{for } 20 < A < 60$$

$$L(\lambda, A) = [1.56 + 0.0667(A - 60)]TL_1(\lambda) + TL_2(\lambda) \quad \text{for } A > 60 \dots (2.4.1 \text{ 式})$$

と表される。このモデルは、主に Stiles と Burch のカラーマッチングデータ<sup>5)</sup>と、Moreland らのデータ<sup>7)</sup>から導出されたものであり、年齢によって変化する成分  $TL_1$  と年齢には関係しない定数成分  $TL_2$  の 2 項の線形和で年齢の異なる水晶体の光学濃度を記述する。60 歳以下とそれ以上で水晶体の変化率が異なることを考慮し、 $TL_1$  の係数に 60 歳を境に異なる値を用いていることが特徴的である。実際に、 $TL_1(\lambda)$  と  $TL_2(\lambda)$  をプロットしたのが、図 2.4.1 である。

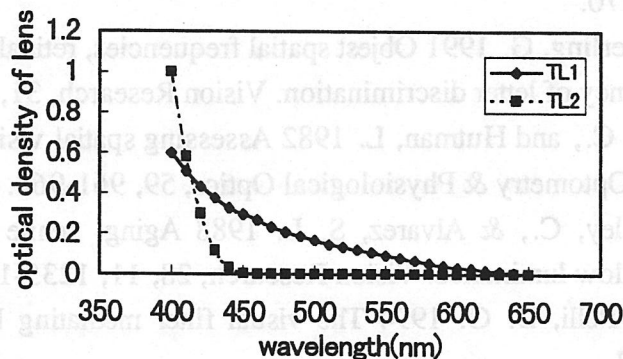


図 2.4.1 Two-factor モデルの 2 つの光学濃度成分

また、Exp モデルの光学濃度  $L(\lambda, A)$  は、

$$L(\lambda, A) = L(\lambda, 0) \exp(\beta(\lambda)A) \dots (2.4.2 \text{ 式})$$

で表される。 $L(\lambda, 0)$  は出生時の光学濃度、 $\beta(\lambda)$  は実験データから得られた波長に対する関数である。 $L(\lambda, 0)$  と  $\beta(\lambda)$  は 400nm から 600nm までしか与えられていないため、今回それぞれ 650nm までグラフ上で外挿を行い、TF モデルと比較評価できるようにした (図 2.4.2)。

また、Savage らによって提案された Linear モデルは、

$$L(\lambda, A) = [0.013(A - 25.4) + 1] 10^{[5.543 - 0.013439\lambda]} \dots (2.4.3 \text{ 式})$$

で表される。

これら 3 つのモデルの特性を比較するために、各モデルから計算された 22 歳の分光透過率曲線をプロットしたのが図 2.4.3、同様に 70 歳の分光透過率曲線をプロットしたのが図 2.4.4 である (具体的な計算方法については 3.6 節を参照のこと)。

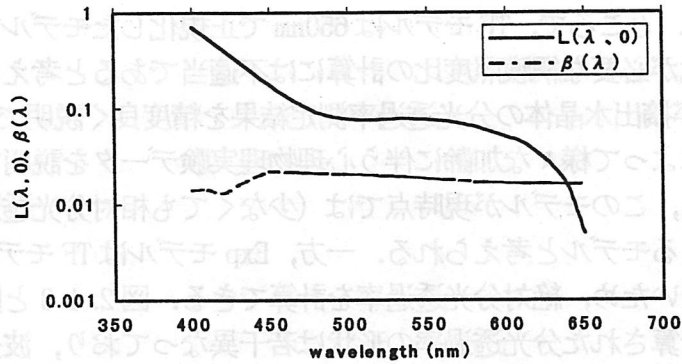


図 2.4.2 Exp モデルの  $L(\lambda, 0)$  と  $\beta(\lambda)$

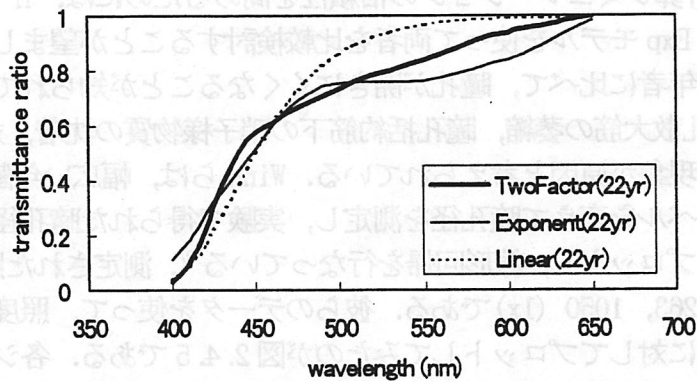


図 2.4.3 水晶体加齢モデルから得られた 22 歳の水晶体分光透過率

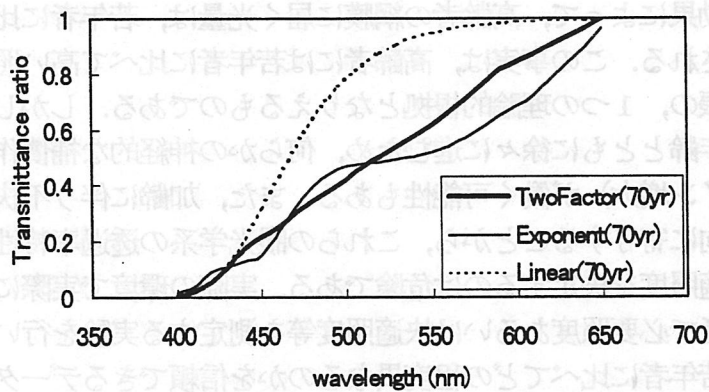


図 2.4.4 水晶体加齢モデルから得られた 70 歳の水晶体分光透過率

図 2.4.3 を見ると、TF モデルと Exp モデルの計算結果の類似性に比べ、Linear モデルだけが他の 2 つと大きく異なる（透過率が相対的にかなり高い）特性を示していることが分かる。Delori らも、Linear モデルは 450nm から 600nm の光学濃度を過小評価して

いると指摘している<sup>9)</sup>。ところで、TFモデルは650nmで正規化したモデルであるため、透過率の絶対値の変化が必要な網膜照度比の計算には不相当であると考えられる。しかしながら、TFモデルが摘出水晶体の分光透過率測定結果を精度良く説明できること、及びPokornyら自身によって様々な加齢に伴う心理物理実験データを説明できることを検証していることから、このモデルが現時点では(少なくとも相対分光透過率モデルとしては)最も信頼できるモデルと考えられる。一方、ExpモデルはTFモデルのように正規化を行っていないため、絶対分光透過率を計算できる。図2.4.3と図2.4.4を見ると、両モデルから計算された分光透過率の形状は若干異なっており、波長領域によって上下関係が逆転しているが、両曲線は互いに数ヶ所で交差しており、平均的には両モデルの差(すなわちTFモデルが650nmで正規化している影響)はそれほど大きくないことが予想される(実際、D65白色の場合に約4%、A白色で約7%程度の違いしかない)。したがって、計算シミュレーションの信頼性を高めるためには、TFモデルだけでなく、必要に応じてExpモデルを使って両者を比較検討することが望ましい。

また、高齢者は若年者に比べて、瞳孔が開きにくくなることが知られている(老人性縮瞳)。これは、瞳孔散大筋の萎縮、瞳孔括約筋下の硝子様物質の沈着、対光反応に関与する網膜視細胞の現象が原因と考えられている。Winnらは、幅広い年齢層の白人91人の被験者で照度レベルを変えて瞳孔径を測定し、実験で得られた瞳孔径データを年齢に対する関数としてプロットし、線形回帰を行なっている<sup>9)</sup>。測定された照度レベルは、2.15, 10.5, 52.5, 263, 1050 (lx)である。彼らのデータを使って、照度レベルに対する瞳孔面積を各年齢に対してプロットしてみたのが図2.4.5である。各シンボルが各年齢でのデータ、曲線は各年齢のデータを3次多項式で回帰した結果である。この結果から、例えば70歳の瞳孔面積は、数lxオーダーで20歳の半分以下になることが分かる。これに、先の水晶体の加齢による透過率減少の影響も加味すると、70歳の網膜に到達する実効照度は20歳の1/3以下になることが推定される。以上のことから、水晶体と瞳孔の加齢効果によって、高齢者の網膜に届く光量は、若年者に比べてかなり少なくなることが示唆される。この事実は、高齢者には若年者に比べて高い照度レベルが必要であるという主張の、1つの理論的根拠となりえるものである。しかしながら、このような加齢効果は年齢とともに徐々に進むため、何らかの神経的な補償作用(この場合は明るさ増大=ゲイン増大)が働く可能性もある。また、加齢に伴う不快グレアは、明るい照明を嫌う傾向に寄与することから、これらの眼光学系の透過率特性だけで、高齢者の必要照度や快適照度を決定するのは危険である。実際の環境で実際にタスクを設定して若年者と高齢者で必要照度あるいは快適照度等を測定する実験を行い、高齢者に必要な照度レベルが若年者に比べてどの程度異なるのかを信頼できるデータと収集し、水晶体や瞳孔の加齢変化に伴う網膜照度減少の影響を定量的に分析した上で、その寄与の程度を検討すべきである。また、水晶体の加齢変化は分光特性に依存するため、照明の色温度に影響するが、照度レベルには依存しない。反対に、瞳孔径の加齢変化は照度レベルによって異なるが、照明の色温度には依らない、といった違いもあることを、特にシミュレーションを行なう場合には注意する必要がある。

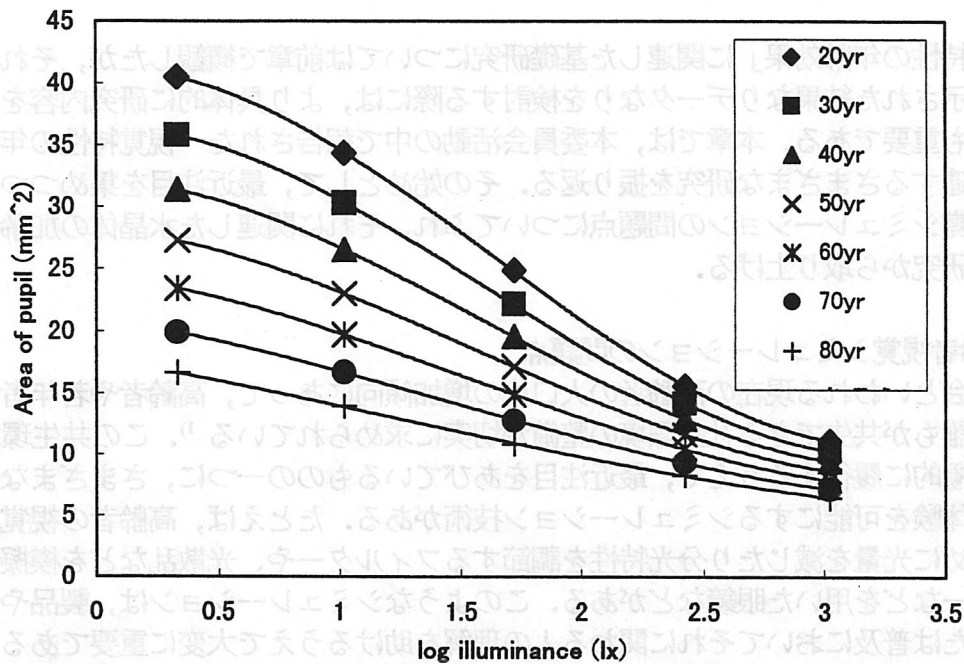


図 2.4.5 Winnらのデータから求めた、各年齢での照度に対する瞳孔面積

参考文献

- (1) J. Pokorny, et al., : "Aging of the Human Lens", Applied Optics, 26, pp. 1437-1440 (1987).
- (2) R. A. Weale: "Age and the Transmittance of the Human Crystalline Lens", J. of Physiology, 395, pp. 577-587 (1988).
- (3) G. L. Savage, et al., : "Age Changes in the Optical Density of Human Ocular Media", Clin. Vision Sci., 8, pp. 97-108 (1993).
- (4) J. Xu, et al.: "Optical Density of the Human Lens", J. Opt. Soc. Am., A 14, pp. 953-960 (1997).
- (5) 岡嶋克典, 岩田三千子: 「水晶体加齢モデルによる高齢者の照明シミュレーションと最適照度の検討」, 照明学会誌, 82, pp. 564-572 (1998).
- (6) W. S. Stiles and J. M. Burch: "Interim Report to the CIE, Zurich, 1955, on the National Physical Laboratory's Investigation of Colour-Matching", Opt. Acta, 2, pp. 168-181 (1955).
- (7) J. D. Moreland: "Temporal Variations in Anomaloscope Equations", Mod. Probl. Ophthalmol., 19, pp. 167-172 (1978).
- (8) F. C. Delori and S. A. Burns: "Fundus Reflectance of the Measurement of Crystalline Lens Density", J. Opt. Soc. Am., A 13, pp. 215-226 (1996).
- (9) B. Winn et al., : "Factors Affecting Light-Adapted Pupil Size in Normal Human Subjects", Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 35, pp. 1132-1137 (1994).

### 第3章 高齢者視覚研究の実例について

「視覚特性の年齢効果」に関連した基礎研究については前章で概観したが、それぞれの研究に示された結果なりデータなりを検討する際には、より具体的に研究内容を見ていくことも重要である。本章では、本委員会活動の中で報告された「視覚特性の年齢効果」に関連するさまざまな研究を振り返る。その始めとして、最近注目を集めつつある高齢者視覚シミュレーションの問題点についてふれ、それに関連した水晶体の加齢効果に関する研究から取り上げる。

#### 3.1 高齢者視覚シミュレーションの問題点

高齢社会といわれる現在の高齢者の人口比の増加傾向にあつて、高齢者や若年者にかかわらず誰もが共生できる社会環境の整備が切実に求められている<sup>1)</sup>。この共生環境の整備を積極的に履行するうえで、最近注目をあびているものの一つに、さまざまな手法による実体験を可能にするシミュレーション技術がある。たとえば、高齢者の視覚を体験するために光量を減じたり分光特性を調節するフィルターや、光散乱などを模擬するフィルターなどを用いた眼鏡などがある。このようなシミュレーションは、製品や環境の設計または普及においてそれに関わる人の理解を助けるうえで大変に重要である。しかしながら、現時点ではこの視覚シミュレーションに関して必ずしも十分な技術整備が行われているとはいえない。そこで本稿では、水晶体の黄変に伴う視機能変化を例にとりながら、高齢者視覚シミュレーションをどのように考えるかについて報告する。

視覚シミュレーションを行ううえで考慮すべきは、以下の事項であろう。

- (a) 視覚のどのような特性をシミュレーションするのか？
- (b) そのシミュレーションを誰が利用するのか？
- (c) そのシミュレーションによって、シミュレートしきれない部分は何か？

以上の三項目のうち、(a) はあたり前の問いのようであるが、実はこの「どのような特性」というところが問題である。この点について、視覚系の器質的变化を扱うのか、現象的特性を扱うのかという側面に分類される。例えば、水晶体の黄変に伴う視機能変化をシミュレートしたい場合、水晶体の黄変化とそれにより生じる他の器質変化（例えば神経機構の変化など）そのものをシミュレートするのか、あるいは黄変化による視機能への現象的な影響をシミュレートするのかという違いがある。もちろん、水晶体の黄変による視機能への影響がすべて把握されていれば、これらは単なる視点の違いに過ぎずシミュレーションの手法は同じことになるかもしれない。しかし、視機能の年齢効果については、未だ未知の部分が多く、完全な把握を期待することはまずできないから、どちらの視点からシミュレートを行うかで、そのシミュレーションの限界が異なるものとなる。これは上述の項目(c)に関連することであるが、例えば器質変化として水晶体の黄変そのものをシミュレートした場合、その他の処理過程（神経機構など）で生じているかもしれない影響を考慮することはできない。一方、現象的变化として、特定の条件下で既知の、黄変による視覚特性をある手法でシミュレートしたとしても、他の条件でその手法によるシミュレートが妥当かどうかは不明となる。また、上述の項目の

(b) は、そのシミュレーションを利用する人の年齢を考慮しておく必要があることを意味している。これは、シミュレーションを体験する人も（仮に十代の若年者であったとしても）すでにその人の年齢に応じた視機能変化が生じているはずであり、その効果

を差し引いておかないと目標とする年齢のシミュレーションにならないということである。以下ではこれらをもう少し具体的に考えてみる。

人の眼球は図 3-1 に示すように、角膜から網膜に光が通過する間に、前房水、水晶体、硝子体などを通過するわけであるが、このうち加齢とともに水晶体の黄変が生じることが知られており<sup>2)4)</sup>、実際に市川 (1996) によって年齢による水晶体の透過率の違いが報告されている<sup>5)</sup> (図 3-2)。これによれば、高齢者 (74 歳) では若年者 (2 歳) に比較して短波長での透過率が減少しており、青みが減少し相対的に黄みの増すことがわかる。これにより視覚機能としても短波長の青みの感度が低下し、視野全体が黄みを帯びることが予想される。

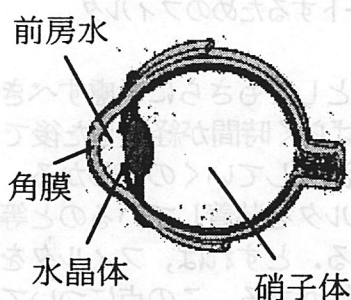


図 3-1. 眼球の概略図

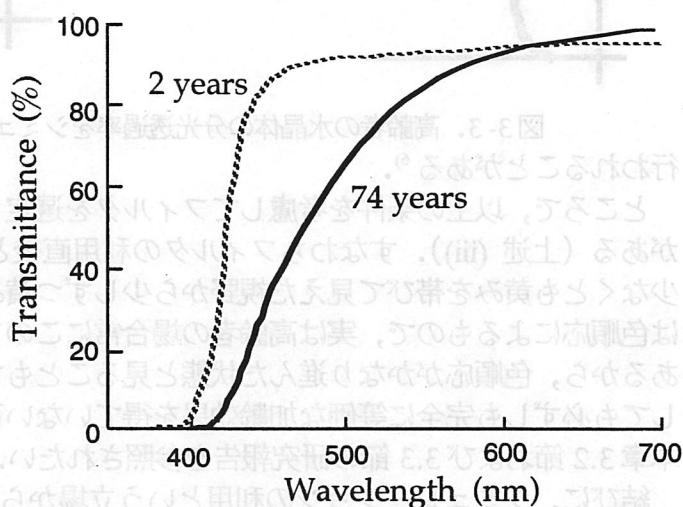


図 3-2. 水晶体の透過率 (市川 (1996)<sup>5)</sup> より改変)

ここではこの水晶体の黄変そのものをシミュレートすることを考える。簡便な方法としてはこの黄変に対応するフィルタを眼鏡等の方法で挿入することである。この時考慮すべきは、以下の点である。

- (i) 高齢者の水晶体とフィルタとで透過光の色み (すなわち色度) をマッチングさせても不十分であること。
- (ii) 利用する人の眼球にはすでに水晶体が存在することを考慮すること。
- (iii) 黄変をシミュレートするフィルタによる色順応の効果を検討する必要があること。

市川 (1996) は、年齢によらず水晶体の透過光の色度が、色度図上で C 光源の白色点から約 575nm の単色光の色度点を結ぶユニーク・イエローの直線上にのること、さらに加齢とともにこの色度点が白色点から遠ざかることを報告している<sup>5)</sup>。従って、フィルタの透過光の色度点がこの直線上にのることが必要条件であるが、条件等色の考え方に従えば、これを満たす透過光の分光分布は無数に存在し、十分条件とはならない (上述 (i))。そこで、フィルタの分光透過率を黄変した水晶体と等価にすることが求められるが、実際にはフィルタを利用する人の水晶体の分光透過率を考慮して、その分をあらかじめ差し引いておくことが必要となる (図 3-3)。具体的には、高齢者の水晶体の透過率を若年者のそれで割ったものに相当する値の透過率を有するフィルタを用いればよい (上述 (ii))。ところが、これまでに行われてきた実験的研究には、このような基本的事項が考慮されていないものが見受けられ、高齢者と同程度の色票の黄み変化が得られユニーク・イエローの直線上にのることを条件としてフィルタの選定が

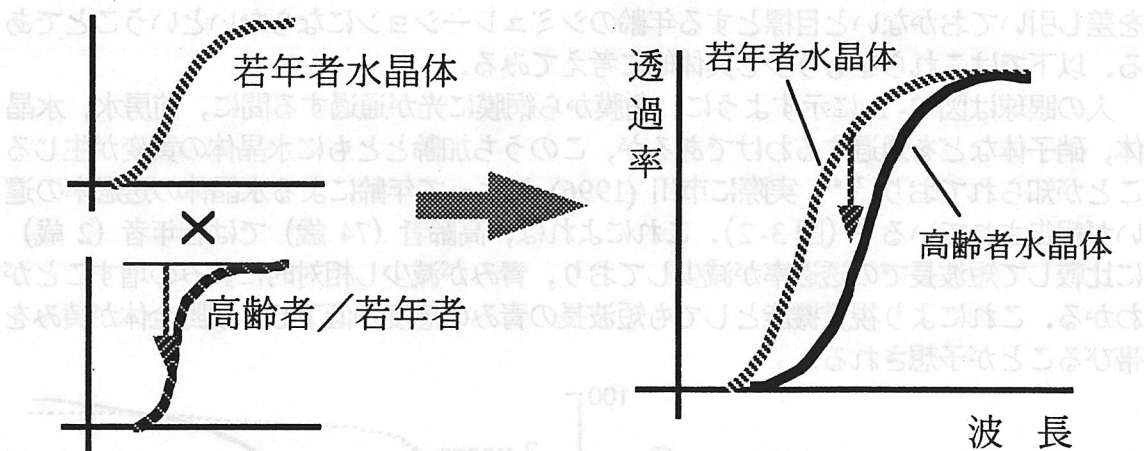


図3-3. 高齢者の水晶体の分光透過率をシミュレートするためのフィルタ行われることがある<sup>9)</sup>.

ところで、以上の条件を考慮してフィルタを選定したとしてもさらに考慮すべき事項がある(上述(iii))。すなわちフィルタの利用直後としばらく時間が経過した後では、少なくとも黄みを帯びて見えた視野から少しずつ黄みが減少していくのがわかる。これは色順応によるもので、実は高齢者の場合常にこのフィルタを装着しているのと等価であるから、色順応がかなり進んだ状態と見ることもできる。とすれば、フィルタを装着しても必ずしも完全に等価な加齢効果を得ていない可能性がある。この点については、本章3.2節および3.3節の研究報告を参照されたい。

結びに、シミュレーションの利用という立場から注意すべき点について1点ふれてみる。それは、シミュレーションがどのような特性に対するものであるかをきちんと把握したうえで利用しなければならないことである。例えば、体験者のもっとも大きな印象が本来シミュレーションされているものと異なる場合(例えば黄色フィルタで色感度の低下をシミュレートしているときに、色みの変化ばかりに気を取られてしまう)、体験者の受け止め方は、シミュレートする側の思惑とは全く異なるものになってしまう。シミュレーションは常に注意深く行う必要がある。

#### 参考文献

- 1) R. Haigh: "The ageing process: a challenge for design", *Applied Ergonomics*, **24**, pp.9-14 (1993).
- 2) R. A. Weale: "Age and the transmittance of the human crystalline lens", *J of Physiology*, **395**, pp.577-587 (1988).
- 3) T. J. T. P. van den Berg and K. E. W. P. Tan: "Light transmittance of the human cornea from 320 to 700 nm for different ages", *Vision Research*, **34**, pp.1453-1456 (1994).
- 4) 森礼於, 河本康太郎, 秋山順悦, 土方清乃, 東堯: 「水晶体着色による色の見え方変化の心理物理的測定」, *日本色彩学会誌*, **7**, pp.107-114 (1993).
- 5) 市川一夫: 「着色眼内レンズ」, *眼科*, **38**, pp.679-687 (1996).
- 6) 吉田あこ, 桜庭晶子: 「高齢者の色覚—視界黄変化の実態とシミュレーション—」, *カラーフォーラム JAPAN 講演論文集*, pp.79-86 (1996).

(氏家弘裕・岩井 彌・菊地里子)

### 3.2 計算シミュレーションの原理

水晶体の光透過特性は光学濃度で表されることが多いが、照明光の分光計算や光の透過特性を見るためには分光透過率が重要となる。ある年齢Aの水晶体への入射光分光強度を $I(\lambda)$ 、その出射光分光強度を $I'(\lambda)$ 、光学濃度を $L(\lambda, A)$ とすると、

$$L(\lambda, A) = \log_{10}(I(\lambda)/I'(\lambda)) \quad \dots (3.2.1)$$

の関係が成立するから、水晶体の分光透過率 $\tau(\lambda, A) (= I'(\lambda)/I(\lambda))$ は

$$\tau(\lambda, A) = 10^{-L(\lambda, A)} \quad \dots (3.2.2)$$

で関係づけられる。若年者(年齢 $A_1$ )があるフィルターを通して見ることによって、高齢者(年齢 $A_2$ )の人と等価な分光透過率をシミュレートすることができる。そのフィルターの分光透過率 $F(\lambda, A_2, A_1)$ は、

$$F(\lambda, A_2, A_1) = \tau(\lambda, A_2)/\tau(\lambda, A_1) \quad \dots (3.2.3)$$

で求めることができる。物理的に存在可能なフィルターはどの波長の分光透過率も1以下( $A_1 < A_2$ の場合)であるが、理論的には1を越える透過率( $A_1 > A_2$ の場合)も計算可能である。ところで最近、高齢者の水晶体を模擬する色フィルター(いわゆる「黄色メガネ」)を用いて若年者が高齢者の視覚を体験できるという試みや、実際にこのような黄色フィルターを用いた実験的研究も行われている<sup>19)</sup>が、理論的に誤ったシミュレーションも多い。このような高齢者視覚シミュレーション用の色フィルターを作成する際には、被験者自身のもつ透過率成分を差し引くために、被験者の年齢を考慮して(3.2.3)式を満たす分光透過率を持つフィルターを選択する必要があることを強調しておきたい。

現在の測光・測色学は、標準観測者の等色関数を想定して体系づけられており、その基になった測定データは数多くの被験者から得られたものであるが、全被験者の年齢分布は明らかにされていない。しかし、年齢によって水晶体の分光透過率が変化した場合の網膜に到達する実効的な光の測色値を計算するためには、測色学の基準となる年齢(標準観測者の年齢)を仮定しておく必要がある。そこで、StilesとBurchの等色実験に参加した被験者の平均年齢が32歳である<sup>3)</sup>ことから、ここでは標準観測者の年齢を32歳と仮定する。したがって、CIEの等色関数を用いて計算した測色値は32歳の被験者にとってはそのまま適用できるが、それ以外の被験者の場合は32歳の人(3.2.3)式で求めた適当なフィルターを通して見る光の測色値に換算する。ここでは、網膜に実際に到達する光の量を、「実効輝度」と呼ぶことにする。例えば、年齢Aの人の眼に分光エネルギー $E(\lambda)$ の照明光が入射した場合、網膜に到達する実効輝度 $L(A)$ を

$$L(A) = K \sum_{400}^{650} E(\lambda) \bar{y}(\lambda) \tau(\lambda, A, 32) \Delta\lambda \quad \dots (3.2.4)$$

と定義する。ここで、 $K$ は最大視感度定数、 $\bar{y}(\lambda)$ は等色関数である。また、今回は $\Delta\lambda$ を10(nm)ステップで計算した。A=32(歳)の場合は $\tau(\lambda, 32, 32) \equiv 1$ となり、 $L(32)$ は輝度 $L$ と等しい。A<sub>2</sub>歳の方はA<sub>1</sub>歳の方に比べて( $A_1 < A_2$ の場合)、物理的に同じ照明光でも、網膜に到達する実効輝度は

$$L(A_2)/L(A_1) \quad \dots (3.2.5)$$

倍となる。これを「実効輝度比」と定義する。照明光の照度はその輝度に比例するため、「網膜照度比」は実効輝度比と等しい。したがって、今回は網膜照度比を (3.2.5) 式で計算している。また、分光反射率  $\rho(\lambda)$  をもつ物体の反射光の実効輝度  $Y(A)$  は同様に

$$Y(A) = \int_{\lambda} \rho(\lambda) I(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad \dots \quad (3.2.6)$$

と定義する。今回は、(3.2.5) 式の実効輝度比のみ用いているので、実際に計算する場合には  $K$  や  $\Delta\lambda$  の値は (3.2.6) 式の分子と分母でキャンセルされるため入れていない。

ここでは便宜上、現在の測色学の平均年齢を 32 歳と仮定したが、年齢間の相対的関係を (3.2.5) 式を使って検討する場合には、この仮定の影響は相殺される。今回も実効輝度比を使って検討するため、何ら問題は生じない。しかし、(3.2.4) 式や (3.2.6) 式で得られた値を測色値の絶対値として扱う場合には「標準観測者を 32 歳と仮定すること」の正当性をさらに議論する必要がある。

TF モデル (2.4 節の (2.4.1) 式) を使って求めた 22 歳, 32 歳, 50 歳, 60 歳, 70 歳, 80 歳の分光透過率を図 3-4 に示す。このグラフから、加齢によって主に短波長と中波長の透過率が大きく低下していくことが分かる。また、(2.4.1) 式からも明らかなことではあるが、60 歳以上で大きな変化が生じることも示されている。図 3-5 は、22 歳, 32 歳, 40 歳, 50 歳の人々が 80 歳の人と同じ透過率になるために装着するフィルターの分光透過率を (3.2.3) 式を使って TF モデルから求めた結果である。被験者の年齢に合わせて図 3-5 の分布に合うような色フィルターを装着すれば、平均的に 80 歳の人と同じ水晶体透過率と等価な眼の状態をシミュレートすることができる。

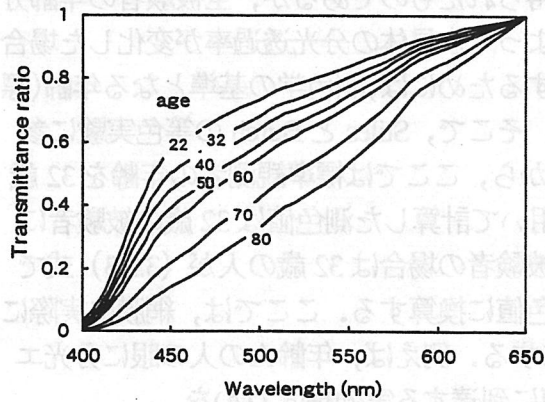


図 3-4. TF モデルから求めた各年齢の水晶体分光透過率

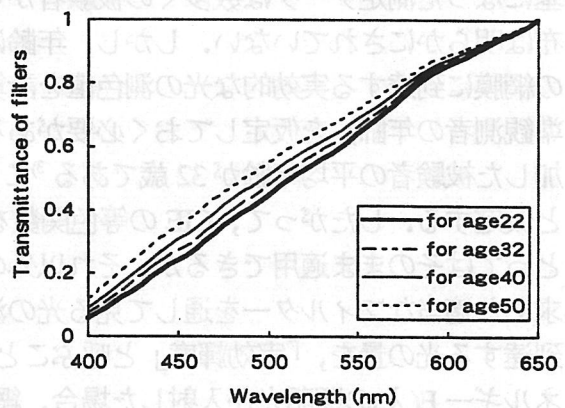


図 3-5. TF モデルから求めたシミュレーション用フィルタの分光透過率

図 3-6 は、TF モデルを用いて、22 歳を基準として D65, D50, A 光源の網膜照度比を (3.2.4) 及び (3.2.5) 式を使って年齢の関数として求め、プロットしたものである。これを見ると、網膜上の明るさは年齢とともに減少していくこと、及び 60 歳までの変化に比べてそれ以後の減少率が增大することがわかる。また、加齢に伴う減少率は照明光の種類によっても異なり、今回の 3 種の照明光の中では D65 照明が最も減少率が大きく、D50, A 照明の順で減少率が小さい。これは、加齢による水晶体透過率の減少度が

く、D50, A 照明の順で減少率が小さい。これは、加齢による水晶体透過率の減少度が長波長に比べて主に短波長・中波長で大きいため、相対的に長波長成分を多く含む A 照明や D50 照明の方が相対的に短波長成分を多く含む D65 照明に比べて水晶体加齢効果の影響が小さいからである。22 歳に比べて 70 歳の網膜照度比は D65 照明で 0.75 倍、A 照明で 0.80 倍に低下する。これは、70 歳の人に対する照度 1000 (lx) の D65 照明光環境は、22 歳の人にとっての 750 (lx) の照度レベルに等価であることを示している。したがって、網膜上の実効照度で考えた場合、22 歳の人に対する D65 照明 1000 (lx) と等価な網膜照度を 70 歳の人に与えるためには、 $1/0.75 \div 1.333$  倍の 1333 (lx) の照明光が必

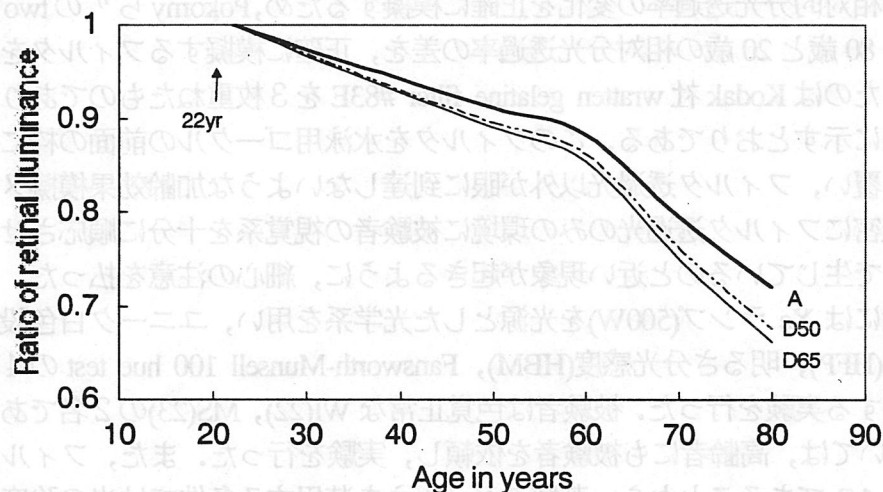


図 3-6. TF モデルから求めた各白色照明光の実効照度比

要であることを意味している。

ところで、TF モデルは 650nm で正規化したモデルであるため(2.4 節参照)、同様な計算シミュレーションを絶対透過率モデルである Exp モデルでも行なってみたところ、22 歳に比べて 70 歳の網膜照度比は D65 照明で 0.72 倍、A 照明で 0.75 倍に低下することが示された。この結果は、先の TF モデルから得られた結果と大きな違いはないことから、近似的には TF モデルを絶対透過率モデルのように扱っても網膜照度比等の計算結果に大きな誤差は生じないことを示唆している<sup>4)</sup>。

#### 参考文献

- 1) C.A.Ako and S.Sakuraba: "The Use of Films to Simulate Age-Related Declines in Yellow Vision", J. of Occupational Rehabilitation, 6, pp.119-134 (1996).
- 2) 吉田, 桜庭: 「高齢者の色覚—視界黄変化の実態とシミュレーション—」, カラーフォーラム JAPAN 講演論文集, pp.79-86 (1996).
- 3) W.S.Stiles and J.M.Burch: "Interim Report to the CIE, Zurich, 1955, on the National Physical Laboratory's Investigation of Colour-Matching", Opt.Acta, 2, pp.168-181 (1955).
- 4) 岡嶋克典, 岩田三千子: 「水晶体加齢モデルによる高齢者の照明シミュレーションと最適照度の検討」, 照明学会誌, 82, pp.564-572 (1998).

(岡嶋克典)

### 3.3 加齢に伴う水晶体黄変が色覚特性に及ぼす効果

#### 3.3.1 はじめに

加齢に伴って水晶体の分光透過率が変化(黄変)することにより、網膜到達光のスペクトルが変化する。眼光学系の加齢効果の中で、水晶体の黄変は色覚特性に影響を及ぼす寄与が最大であると予想される。本節では、水晶体黄変に伴う網膜到達光の分光特性の変化のみを模擬的に生じさせ、水晶体分光透過率の変化が加齢に伴う色覚特性の変化の主要因であるかどうかを検証するために行った実験の結果について報告する。

#### 3.3.2 方法

水晶体の相対的分光透過率の変化を正確に模擬するため、Pokorny ら<sup>1)</sup>の two factor model に基づく 80 歳と 20 歳の相対分光透過率の差を、正確に模擬するフィルタを用意した。今回用いたのは Kodak 社 wratten gelatine filter #83E を 3 枚重ねたものであり、分光透過率は図 1 に示すとおりである。このフィルタを水泳用ゴーグルの前面の枠に接着し、側面を黒く覆い、フィルタ透過光以外が眼に到達しないような加齢効果模擬メガネを作成した。厳密にフィルタ透過光のみの環境に被験者の視覚系を十分に順応させ、高齢者の視覚系に生じているのと近い現象が起きるように、細心の注意を払った。

実験装置には Xe ランプ(500W)を光源とした光学系を用い、ユニーク白色設定、交照法分光感度(HFP)、明るさ分光感度(HBM)、Fansworth-Munsell 100 hue test の 4 種類の色覚特性に関する実験を行った。被験者は色覚正常な WI(22)、MS(23)の 2 名である。100 hue test については、高齢者にも被験者を依頼し、実験を行った。また、フィルタの輝度透過率が約 1/2 であることから、若齢者がメガネを装用する条件では光の強度を 2 倍にして実験を行った。

#### 3.3.3 ユニーク白色設定

視覚系が色光に対して順応すると、順応光の補色の方向に色の見えがシフトすることを利用し、被験者がどのような光を白色と感じるかを測定し(ユニーク白色設定)順応状態を推定する。被験者は黄色いメガネを装着するため、時間とともに色の見えは青-黄色の方向に変化する。被験者は 420nm(青)と 580nm(黄色)の単色光の強度比を変化させ、その時点で青みも黄色みも感じられない色に光を調整した。図 3-7 は装着直後から 12 時間までの変化を調整値 x 座標値で示したもので、メガネ装着直後はフィルタの補色方向に大きくシフトしている。60 分までは急激に感度に変化してメガネ装着前のユニーク白色に近づき、その後はほぼ一定になっているが、装着前の値とは一致しなかった。しかし、Werner and Scheffrin<sup>9)</sup>による実験結果では、若齢者と高齢者には色の見えに優位な変化がないという結果がでている。色順応だけでは完全に元の色の見えを回復できなかったという結果からは、網膜到達光の分光特性の変化(水晶体黄変の模擬)に対して、視覚系が通常の順応だけでは高齢者の色の見えと一致しないことを示している。

#### 3.3.4 分光感度特性(HFP, HBM)

分光感度は、黄色フィルタを 1 時間装着した後で測定を行った。フィルタによる透過率変化の影響を受けにくく、比較的低彩度の 580nm の単色光を参照光とし、450nm~650nm のテスト光で測定を行った。HFP では 15 Hz の光の交代でちらつき最小となるように、HBM では 2 Hz の光の交代で明るさ変化が最小になるように調整を行った。図 3-8 は

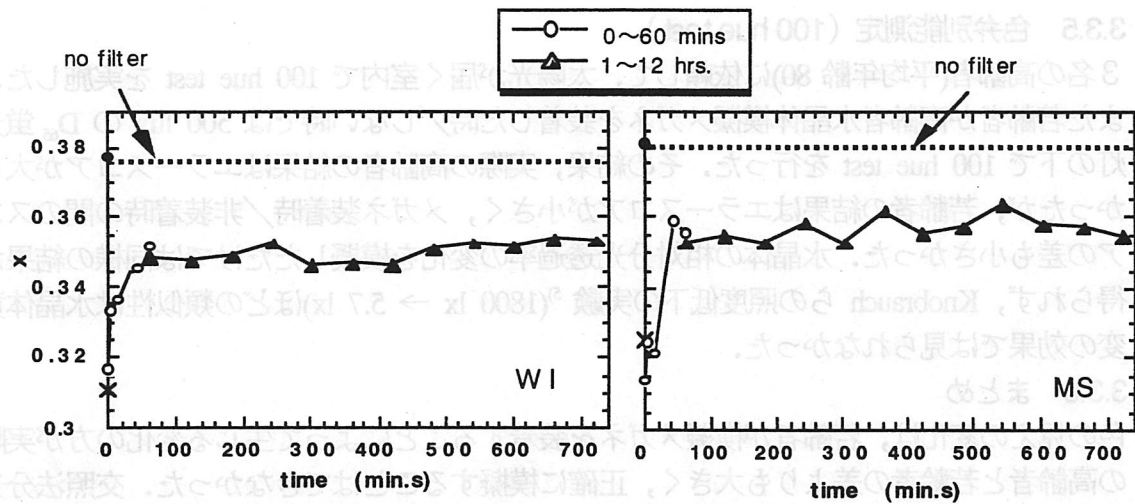


図3-7. ユニーク白色設定の結果

縦軸の●印は、フィルタ非装着時のユニーク白色の x 色度、×印はフィルタの分光透過率が●と一致するために必要な光の色度を表している。

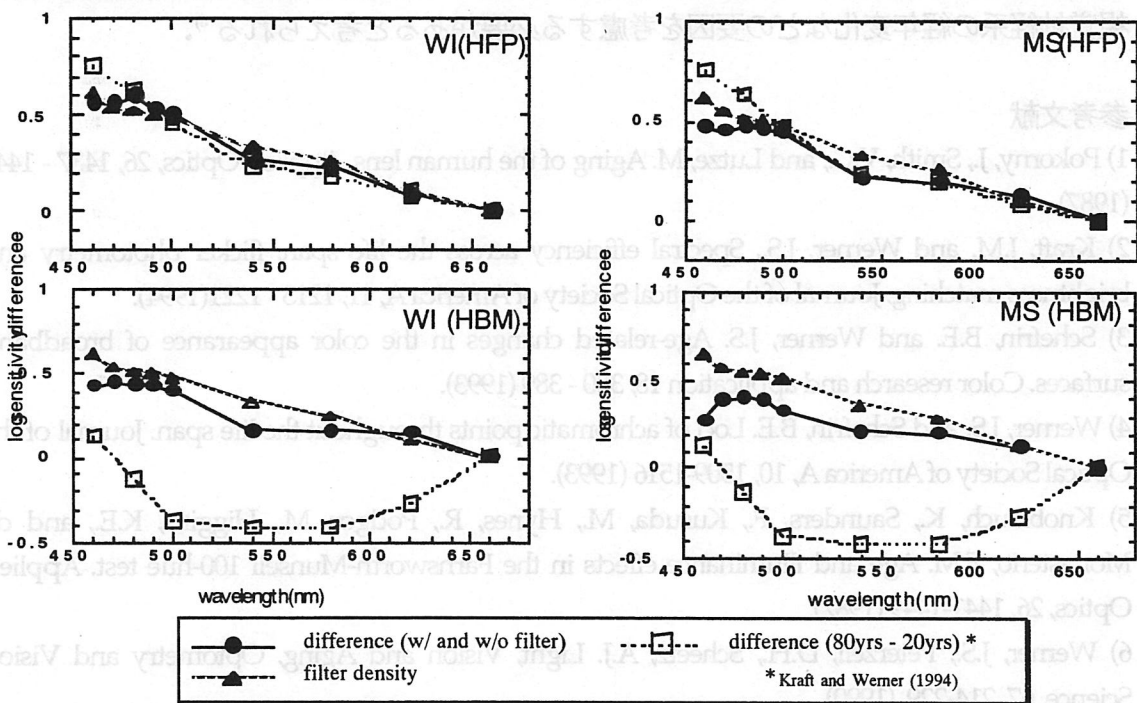


図3-8. 分光感度測定結果の差分

左列は被験者 WI, 右列は被験者 MS. 上段は HFP 分光感度, 下段は HBM 分光感度の差分. HFP では, 実験結果と水晶体分光透過率の差分 (フィルタ分光透過率), 高齢者と若齢者の実験結果のすべての分光特性が一致している。

条件間の分光感度の差分を Kraft and Werner<sup>2)</sup>の 80 歳代と 20 歳代の相対分光感度の差分と比較した図である. 今回の結果は, HFP の結果は実際の高齢者-若齢者における相対分光感度の差分とほぼ一致し, 同時にフィルタの分光濃度特性と非常に近い. HBM については, 実験結果は高齢者-若齢者とも, 相対分光透過率の差とも一致しなかった。

### 3.3.5 色弁別能測定 (100 hue test)

3名の高齢者(平均年齢 80)に依頼して、太陽光が届く室内で 100 hue test を実施した。また若齢者が高齢者水晶体模擬メガネを装着した時/しない時では 500 lux の  $D_{65}$  蛍光灯の下で 100 hue test を行った。その結果、実際の高齢者の結果はエラースコアが大きかったが、若齢者の結果はエラースコアが小さく、メガネ装着時/非装着時の間のスコアの差も小さかった。水晶体の相対分光透過率の変化を模擬しただけでは同様の結果が得られず、Knoblauch らの照度低下の実験<sup>5)</sup>(1800 lx  $\rightarrow$  5.7 lx)ほどの類似性は水晶体黄変の効果では見られなかった。

### 3.3.6 まとめ

色の見えの変化は、若齢者が模擬メガネを装着することによって生じる変化の方が実際の高齢者と若齢者の差よりも大きく、正確に模擬することはできなかった。交照法分光感度(HFP: 輝度)については、水晶体の相対分光透過率の変化によってその特性を説明できる結果を示した。以上を総合すると、色の見えの特性は水晶体黄変による網膜到達光の分光特性の変化と、それに対する日常的な順応では現象が説明できず、網膜以降の視覚神経系の経年変化などの要因を考慮する必要があると考えられる<sup>6)</sup>。

### 参考文献

- 1) Pokorny, J., Smith, V.C., and Lutze, M. Aging of the human lens. *Applied Optics*, 26, 1437 - 1440 (1987).
- 2) Kraft, J.M. and Werner, J.S., Spectral efficiency across the life span; flicker photometry and brightness matching. *Journal of the Optical Society of America A*, 11, 1213 - 1221(1994).
- 3) Scheffrin, B.E. and Werner, J.S. Age-related changes in the color appearance of broadband surfaces. *Color research and application* 18, 380 - 389 (1993).
- 4) Werner, J.S. and Scheffrin, B.E. Loci of achromatic points throughout the life span. *Journal of the Optical Society of America A*, 10, 1509-1516 (1993).
- 5) Knoblauch, K., Saunders, F., Kusuda, M., Hynes, R., Podgor, M., Higgins, K.E., and de Monasterio, F.M. Age and illuminance effects in the Farnsworth-Munsell 100-hue test. *Applied Optics*, 26, 1441-1449 (1987).
- 6) Werner, J.S., Peterzell, D.H., Scheetz, A.J. *Light, Vision and Aging*, *Optometry and Vision Science*, 67, 214-229, (1990).
- 7) 石井渉・栗木一郎・内川恵二, 応用物理学関係連合学術講演会予稿集 (1998)

(内川恵二)

### 3.4 高齢者の視覚機能計測

#### 3.4.1 背景と目的

(社)人間生活工学研究センター(略称 HQL)では、新エネルギー・新産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託により、高齢者身体機能データ・ベースの構築に関する調査研究を進めている。

この調査研究事業は、高齢者が使いやすい生活環境の整備が進むよう、製品や環境の設計において、高齢者が使いやすい製品や、暮らしやすい生活環境の整備が進むよう、製品や環境の設計・デザイン等に役立つようなデータを集積し、提供することを目的としたものである。高齢者の視覚機能計測は、その一端として行われた。

平成 6 年度から、立命館大学工学部の池田先生を委員長とした視覚専門委員会が組織され、製品や環境の設計・デザイン等に役立つ視覚機能データとは何かが議論された。委員会では 3 年間かけて、計測項目や測定方法について、予備計測を行いながら検討を繰り返した。

その結果選定されたのが、事項に上げる項目である。委員会では、日常生活におけるものの見え方を、どのようにデータ化するかに注意が払われた。そのため、一般的な視力測定とは異なり、被験者が日常使用している矯正具をそのままの状態で使用した時の視覚機能を計測することになった。また、計測の内容や条件設定についても日常生活との関係を考慮して設定した。

これらの項目について、HQL では平成 9 年度から、数百人規模での集団計測を行っている。

#### 3.4.2 計測項目と計測内容

##### (1) 生活視力

距離、明るさ、コントラストに着目した計測を行う。視標はランドルト環で、計測可能な視力範囲は 3m 視力が 0.1~3.0、30cm 視力が 0.1~1.5、照明は蛍光灯を使用。

視距離	視標面照度	コントラスト	矯正条件
3 m	1000 lx	白背景-文字黒色濃度 100%	生活視力 (両眼)
			生活視力 (右眼)
			生活視力 (左眼)
			裸眼視力 (両眼)
			裸眼視力 (右眼)
			裸眼視力 (左眼)
			生活視力 (両眼)
			生活視力 (両眼)
			生活視力 (両眼)
			生活視力 (両眼)
	100 lx	白背景-文字黒色濃度 100%	生活視力 (両眼)
	10 lx	白背景-文字黒色濃度 100%	生活視力 (両眼)

30 cm	1000 lx	白背景-文字黒色濃度 100%	生活視力 (両眼) 生活視力 (右眼) 生活視力 (左眼) 裸眼視力 (両眼) 裸眼視力 (右眼) 裸眼視力 (左眼)
		白背景-文字黒色濃度 55%	生活視力 (両眼)
		白背景-文字黒色濃度 35%	生活視力 (両眼)
		白背景-文字黒色濃度 15%	生活視力 (両眼)
		黒背景-文字黒色濃度 55%	生活視力 (両眼)
		黒背景-文字黒色濃度 35%	生活視力 (両眼)
		黒背景-文字黒色濃度 15%	生活視力 (両眼)
	黒背景-文字黒色濃度 0%	生活視力 (両眼)	
	100 lx	白背景-文字黒色濃度 100%	生活視力 (両眼)
	10 lx	白背景-文字黒色濃度 100%	生活視力 (両眼)

## (2) 暗順応

順応速度に着目した計測を行う。

前順応ありの計測は10,000 cd/m<sup>2</sup>のスクリーンを1分間見続けた後、直ちに視標の文字を濃い方から音読し、10秒間で読みとれた文字の黒色濃度を記録する。視標のひらがな文字サイズは視力0.1相当で、コントラストは10段階、環境照明には蛍光灯を使用する。視標面照度10 lxで100%濃度の文字が読みとれない場合は、読みとり可能となるまで視標面照度を上げて計測する。

視距離	前順応	視標面照度	視標 (ひらがな) のコントラスト	矯正条件
3 m	なし	10 lx	白背景-文字黒色濃度 100~10%	生活視力 (両眼)
	あり	10 lx	白背景-文字黒色濃度 100~10%	生活視力 (両眼)

## (3) グレア

グレア光源がある状況で、読みとれる文字のコントラストを計測する。

角膜照度60 lxのグレア光による計測を行う。グレア光源を直接見てしまうと正確な計測ができないため、照度調節時間中も計測時間中も光源を見ないように、被験者に教示する必要がある。計測は正面の視標の文字を音読し、読みとれる黒色濃度を記録する。視標のひらがな文字サイズは視力0.1相当で、コントラストは10段階、環境照明には蛍光灯を使用する。視標面照度10 lxで100%濃度の文字が読みとれない場合は、読みとり可能となるまで視標面照度を上げて計測する。

視距離	グレア光	視標面照度	視標 (ひらがな) のコントラスト	矯正条件
3 m	なし	10 lx	白背景-文字黒色濃度 100~10%	生活視力 (両眼)
	視野角4°	10 lx	白背景-文字黒色濃度 100~10%	生活視力 (両眼)
	視野角8°	10 lx	白背景-文字黒色濃度 100~10%	生活視力 (両眼)

#### (4) 色弁別

赤, 黄, 緑, 青の 4 色について, 色相, 明度, 彩度それぞれの変化がどの程度になれば短時間見ただけで違いとして認知できるか, 明るさを変え, その閾値を計測する。

呈示するカードはそれぞれの色について基準色と比較色をつくり, 「基準色-基準色」「比較色-比較色」「基準色-比較色」「比較色-基準色」の組み合わせで作成した。その色および色差は次の通りである。

- ・背景色: 灰色 (N=6.5)
- ・基準色: 赤 (5R4/12), 黄 (5Y7/10), 緑 (2.5G4/9), 青 (5PB4/10)
- ・色差: 色相は時計回り (赤→橙, 黄→黄緑, 緑→青, 青→紫)

明度は明るくなる方向

彩度はくすんでいく方向

変化量

色	要素	変化量 ( $\Delta E_k$ )
赤	色相	3, 6, 9, 12, 15, 18
	明度	2, 4, 6, 8, 10, 12
	彩度	2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0
黄	色相	1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0
	明度	2, 4, 6, 8, 10, 12
	彩度	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
緑	色相	3.5, 7.0, 10.5, 14.0, 17.5, 21.0
	明度	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14
	彩度	2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0, 17.5
青	色相	1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0, 10.5
	明度	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14
	彩度	2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0

変化量 $\Delta E_k$  は日本色研 MLAB 色差であり, 次式による。

$$\Delta E_k = ((0.75 \times dH^*)^2 + dL^{*2} + (0.75 \times dC^*)^2)^{0.5}$$

カードの組み合わせは「基準色-基準色」を各色 10 組作成したので, トータル 271 枚となる。呈示は環境ボックス内で行い, 照明は蛍光灯とする。被験者に呈示されたカードは同じ色か異なる色かを申告してもらい, それを記録する。

視距離	視標面照度	呈示時間	呈示カード	矯正条件
近接 (拘束なし)	1000 lx	2 秒	上記 271 枚	生活視力 (両眼)
	10 lx	2 秒	上記 271 枚	生活視力 (両眼)

#### (5) 被験者の属性調査

被験者属性把握のため, 視覚属性調査や, 矯正具の度数計測等をおこなっている。

##### 3.4.3 今後の予定

これらの視覚特性計測の, 予備計測と集団計測結果については, 身体機能データベースの一部として提供するため, 現在整備を進めている。

(坂井由花)

### 3.5 高齢者の視覚特性を考慮した視認性評価法

加齢に伴う視機能低下は連続的であり、その問題の多くは、健康な若者であっても夜間など観察条件が悪い時に経験するという意味で、特殊でも極端でもない普遍的な視覚の問題である。2.3 節で高齢者にとって見やすい表示が満たすべき要件として、(1)低視力で読み取れること、(2)短時間で読み取れること、を指摘した。これを達成するにはそれ相当の視認性評価法が必要である。本節では、「どれだけ低視力で読みとれるか」、「どれだけ短時間で読みとれるか」、即ち、視対象の可読性を測定する手法として、ローパス・フィルタリング法を説明する(舟川と小田, 1997)。

#### 3.5.1 基礎となる考え方

視覚系への入力である網膜像は、様々な周波数・振幅・位相を持つ空間的な輝度変調の正弦波の線形な和に分析できる(フーリエ分析)、また、我々が見る形状は輝度それ自体ではなく輝度コントラストとしてそこに定義される。さらに、視覚の初期過程は、空間的に局在する時空間フィルタの集合であり、それらを通して時空間周波数毎の処理を並列的に行なっていると考えられる(多重チャンネル・モデル)。ある視対象、たとえば文字の認識には、その形状を構成する全ての空間周波数成分が必要なわけではなく、その形状を特徴付けている空間周波数帯域における情報が視覚系に伝達されれば事足りる(Parish & Sperling, 1991; Solomon & Pelli, 1994)。その形状を特徴付けている空間周波数帯域は、形状の複雑さによって変化し、視環境や視覚特性と独立に扱うことができる可読性に関わる視対象の属性である。ある文字が読みとれるか否かは、その文字形状を特徴付けている空間周波数帯域におけるコントラストが、観察者のその帯域におけるコントラスト感度より高いか低いかによって決まる。また、ある文字などの形状を特徴付けている空間周波数帯域は、その文字サイズに対する空間周波数(cycles/ character)であり、網膜上での空間周波数(cycles/ degree)ではない(Parish & Sperling, 1991)。

原則的に、コントラスト感度と視対象の時空間周波数特性から、「見えるか見えないか」、「見やすいか見にくい」を予測することができる。高齢者のコントラスト感度(CSF)については2.3 節で概観したが、高齢者に限らず、様々な条件下で測定されたコントラスト感度を見ると、照明レベルの低下に対しても(von Meeteren & Vos, 1972)、対象の運動に対しても(Robson, 1966)、周辺視においても(Banks et al., 1991)、共通して高空間周波数帯域での感度低下、即ち、視力低下が起こっている。即ち、周辺視/暗所視や薄明視/高齢者の視覚/等輝度条件下の色覚/運動視、これらは、中心視/明所視/若年者の視覚/輝度変化に対する視覚/静止対象の視覚に較べ、低空間解像度(低視力)と特徴付けることができる。

#### 3.5.2 視認性の定義

視覚情報処理特性と視覚形状に関する以上の考察に基づいて、形状の属性としての視認性を定義できる。即ち、形状を特徴付けている空間周波数帯域を測定し、その高低を調べることによって、加齢や順応など視覚特性の変化、昼夜など観察条件の変化が可読性に与える影響の大小を予測できる。従って、高い視認性とは、視機能低下や観察条件の悪化の影響を受けにくいことであり、より低い空間解像度でも(より低視力でも)、

その形状を認識・同定できる性質である。言い換えると、高い視認性とは、その形状を特徴付ける空間周波数帯域が低いことである。高空間周波数帯域に含まれるエネルギーはそもそも相対的に小さく、S/N 比も低いと予想され、高空間周波数に対して高い感度を有するのは、明所視の下、網膜の中心部位約2度の領域のみである。

### 3.5.3 ローパス・フィルタリング法

形状を特徴付けている空間周波数帯域は、文字ならヒトがその文字の認識・同定の際に利用している帯域であり、心理物理学的に測定しなければならない。その方法として、ローパス・フィルタリング法を提案する。ローパス・フィルタリングでは、あるカットオフ周波数より高い周波数成分が評価対象から取り除かれる。色々なカットオフ周波数における形状認識の精度を測定することによって、また、カットオフ周波数を十分に低い値から順次上昇させ初めて正確な認識が可能な点を測定することによって、ある形状を特徴付けている空間周波数帯域を測定することができる。そして、ローパス・フィルタリングのカットオフ周波数の臨界値から、その形状を正しく認識できる最低視力を換算できる。この臨界周波数が低いほど、そして、この換算視力が低いほど、視認性が高



図3-9. 視認性測定実験の結果。平均換算視力の数値は、数字0-8、被験者2名の平均値である。平均換算視力が低いほど視認性は高い。

い形状といえる。実際のローパス・フィルタリングの方法には、光学的方法や画像処理など計算的方法として複数あるが、ここでは説明しない。

ローパス・フィルタリング法によって14種の数字書体(0~8)の可読性の測定結果を、二名の被験者、同一書体の全数字の平均値として図3-9に示す。数値は視力であり、小さいほど可読性は高い。書体の種類に関わらず、8, 3, 6, 5の可読性が低く、1, 7, 0, 4の可読性が高い。書体間の比較でも同様に、より複雑な形状、具体的には、文字サイズに対し相対的に小さなGapやHoleをもった形状の数字及び書体の可読性が低くなっている。

ローパス・フィルタリング法は、視環境条件や視覚特性と独立な、可読性を規定する形状の属性を定量評価している。誘目性や理解しやすさといった問題は残されたが、視認性の観点から形状をデザインする際に客観的尺度を与えるものである。また、形状の属性だけではなく、同一対象の評価を様々な表示条件や観察条件、視覚課題で測定することによって、どの条件でより良い視認性が得られるか、特定の視覚課題を行うためにどれだけの情報が必要かなど、表示方法や周囲の環境の適切さ、視覚課題の性質の評価にも応用できる。視力低下は、加齢を含め、最も日常的なありふれた視機能低下であることから、多種多様な環境下、不特定の個人が利用する各種情報表示のデザインに、有効な視認性指標を提供すると期待できる。

#### 参考文献

- Banks, M. S., Sekuler, A. B. and Anderson, S. J. 1991 Peripheral spatial vision: limits imposed by optics, photoreceptors, and receptor pooling. *Journal of the Optical Society of America, A*, 8, 1775-1787.
- Parish, D. H. and Sperling, G. 1991 Object spatial frequencies, retinal spatial frequencies, noise, and the efficiency of letter discrimination. *Vision Research*, 31, 1399-1415.
- Robson, J. G. 1966 Spatial and temporal contrast sensitivity functions of the visual system. *Journal of the Optical Society of America*, 56, 1141-1142.
- Solomon, J. A. and Pelli, D. G. 1994 The visual filter mediating letter identification. *Nature*, 369, 395-397.
- von Meteren, A. and Vos, J. J. 1972 Resolution and contrast sensitivity at low luminance. *Vision Research*, 12, 825-833.
- 舟川政美・小田浩一 1997 ローパス・フィルタリング法による形状の視認性評価, *照明学会誌*, 81, 438-445.

(舟川政美)

### 3.6 高齢者の読みにおける眼球運動の測定について

#### 3.6.1 はじめに

高齢者にとって快適な環境を設計するためにはまず高齢者の生理・心理機能を把握することが重要である。しかし、そのようなデータは不足しているのが現状である。高齢者の基礎的な視機能についてはさまざまな加齢効果があることが明らかになっているが、視対象を観察する際の眼球運動にどのような影響があるかは明らかになっていない。そこで文章を読む際の眼球運動を測定し、高齢者と若齢者の差を明らかにすることを目的とし、実験を行った。

#### 3.6.2 実験方法

##### 被験者

視機能の正常な6名の高齢者(年齢:66-74歳)と6名の若齢者(年齢:20-24歳)を被験者とした。

##### 実験装置

被験者の眼球運動は"Eye Movement Monitor"(竹井機器工業)により測定した。データのサンプリング時間は33msecである。刺激は被験者から90cmの距離に置かれた32インチワイドスクリーンのCRTディスプレイに提示した。被験者の頭部は顎台を用いて固定し、右手にはマウスを持たせた。このマウスは刺激画面を切り替えるのに使用した。

##### 刺激

新聞記事から引用した文章およびランダム文字列を刺激として使用した。表記方法は(a) ひらがなのみ、(b) カタカナのみ、(c) 漢字仮名混じりの3通りとした。

##### 手続き

眼球運動の測定の流れは次の通りである。

- \* 提示された固視点を実験者の指示にしたがって注視する(これにより視線位置のずれを調整する=較正)
- \* 実験者の指示に従って手元のマウスをクリックし、提示された刺激を読み始める
- \* 刺激を読み終わった時点で再びマウスをクリックする

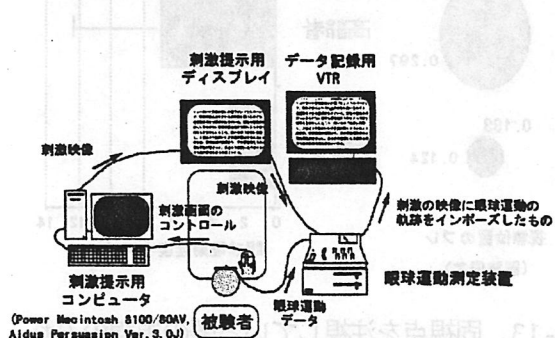


図3-10. 実験システム

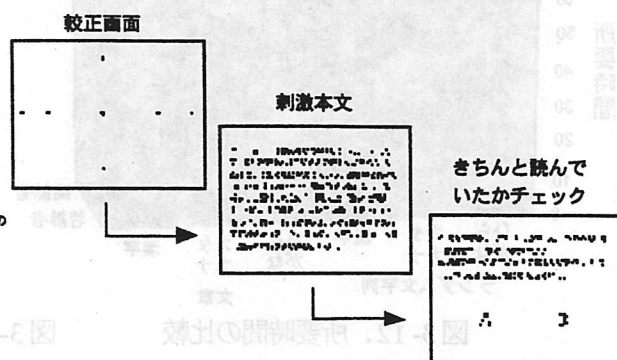


図3-11. 実験手続き

- \* 次の画面で提示された2つの文章または文字列のうち、読んだ刺激のなかに含まれていた方を注視する
- \* 実験者の指示があったらマウスをクリックし、提示された固視点を注視する(以下繰

り返し)

なお、被験者には刺激を読むにあたっては内容を理解しながら自分のペースで読むよう、またランダム文字列についても自分のやり方で読むよう教示を与えた。刺激を読み終わった後に行う作業は、被験者がきちんと提示刺激を読んでいたかを確認するためのものである。また、測定終了後には実験内容について若干の質問を口頭にて行った。

### 3.6.3 分析方法

人間が静止対象を観察する際には、視線の動きはほぼ停止した状態である注視の状態と非常に高速で移動する跳躍性眼球運動(サックード)の状態に分類される。外界からの情報受容は注視の状態においてのみ行われるため、眼球運動データを分析するにあたっては、注視点を抽出することが重要となる。視線は厳密には完全に停止することはないため、注視点の抽出は一定の定義に基づいて行われる。ここでは視線の移動速度が 5deg/sec の状態が 165msec 以上継続した場合を注視点と定義した。

文章を読む際の情報受容の効率は各注視点における平均注視時間および各注視点間の距離であるサッカディックスパンによって示される。平均注視時間が短く、サッカディックスパンが長いほど効率よく情報を受容していることを示す。そこで、これらの値を指標として、読みにおける眼球運動における加齢効果を検証した。

### 3.6.4 結果

#### 所要時間

各刺激を読むのに必要な時間は図 3-12 のように、ひらがなのみで表記された文章および漢字仮名混じりの文章を読む際には高齢者の方が若齢者よりも有意に長いことが示された。

#### 固視点を注視している際の視線のばらつき

注視点分析に先立ち、固視点を注視している際の眼球運動データを分析した結果を図 3-13 に示す。高齢者と若齢者では視線の分布に有意な差があり、高齢者の方がばらつきが大きいこと、その際の眼球運動速度は高齢者の方が速いことが明らかになった。

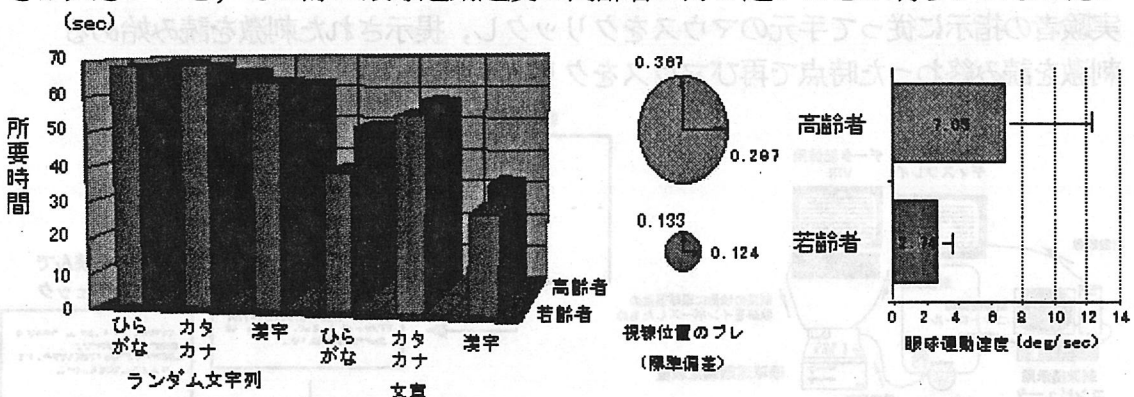


図 3-12. 所要時間の比較

図 3-13. 固視点を注視している際の視線のばらつき

このように高齢者の視線は不安定であるが、特に 3 名分については非常に不安定で注視点がほとんど抽出されなかったため、これらのデータは注視点分析からは除外した。

#### 一注視点あたりの平均注視時間

注視点分析の結果、図 3-14 のように高齢者の各注視点における平均注視時間は若齢

者よりも長くなる傾向を示した。ただし、その差が有意であったのは漢字仮名混じりで書かれた文章を読んだ際のデータのみであった。

### サッカーディック・スパン

図 3-15 に示したように、漢字仮名混じりの文章については高齢者の方が若齢者よりもサッカーディック・スパンが有意に小さくなることが明らかになった。しかし、そのような傾向は他の方法で表記された文章やランダム文字列については認められなかった。

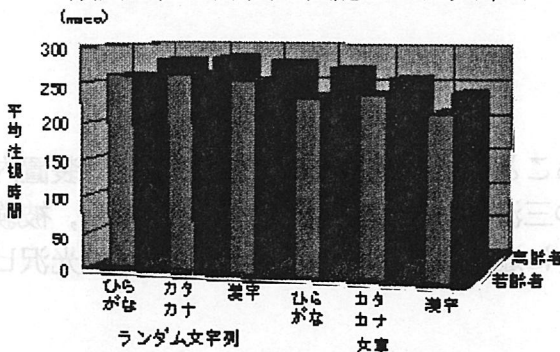


図 3-14. 一注視点あたりの平均注視時間

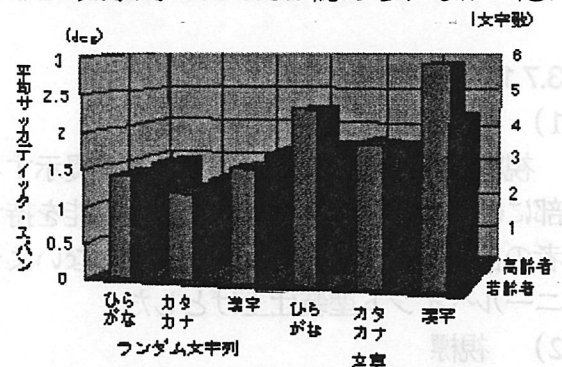


図 3-15. 平均サッカーディック・スパン

### 3.6.5 考察

#### 「読み」における眼球運動の高齢者と若齢者の差異

眼球運動データを分析した結果、高齢者と若齢者の有意な差は漢字仮名混じりの文章を読んでいるときにのみ認められた。その他の表記方法で書かれた文章を読んでいるときやランダム文字列を「見ている」ときには有意差は認められなかった。これは文章の内容を理解する際に何らかの差異があり、その差異が眼球運動に反映されているものと推測される。この点に関してはこれからさらに検討を要する。

また、刺激が高コントラストで提示され、高齢の被験者にとって見やすい条件であったことも高齢者と若齢者の差異がわずかであった原因であると考えられる。刺激の観察条件によっては差が大きくなる可能性もある。

#### 高齢者を被験者としたときの問題点

本実験では眼鏡型の眼球運動検出部を持つ眼球運動測定装置を使用した。高齢者の眼瞼の下垂によりセンサーの調整が若齢者に比べて困難になるということが明らかになった。また、若齢者の場合にもまして高齢者の場合はできるだけ負担をかけないことが正確なデータを得る上で重要となる。例えば近年開発された頭部にセンサーをつけずに眼球運動を測定することのできる装置を用いるなど、極力負担の少ない実験を計画することが望まれる。

#### 3.6.6 おわりに

本実験により、文章を読む際の高齢者と若齢者の眼球運動には差があることが明らかになった。今後更にさまざまな日常的な場面における高齢者の眼球運動を測定し、高齢者に適した視環境の設計の根拠となるデータを整備していきたい。

(福田亮子)

### 3.7 被験者実験に基づく高齢者の等視力曲線に関する研究<sup>1,2)</sup>

本研究では、高齢者に快適な視環境設計のための基礎資料を得ることを目的として、高齢者を被験者とした視認実験を行い、高齢者の視認能力を視対象物（ランドルト環）の大きさ、輝度対比、および必要背景輝度の3者の関係における視認閾値として求めた。これを高齢者特有の目の疾患との関わりで検討し、青年に関する同様の実験結果についてのデータと比較・検討を行った結果を示す。

#### 3.7.1 実験概要

##### 1) 実験装置

視距離1mの正面壁に視標を準時提示することができる実験装置を作成した。装置内部には、開口部の左右両側に調光機能を持つ三波長型蛍光灯（昼光色）を設置し、被験者の目に光源からの光が直接入射しないように遮蔽版を設けた。内壁面は白色無光沢ビニールペイント塗装仕上げとした。

##### 2) 視標

白色の無光沢コート紙に、黒または灰色のランドルト環（視力0.1~2.0までの14種類）を印刷した視距離1mでのランドルト環視力検査視標を10種類作成した。表3-1に各視標の背景とランドルト環との輝度対比を示す。

表3-1. 視標の輝度対比

0.90	0.83	0.62	0.39	0.18	0.14	0.05	0.04	0.02	0.01
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

##### 3) 被験者

被験者は60~81歳までの老人大学学生102名。平均年齢は68.0歳、平均視力は0.79であった。被験者の自己申告に基づいて目の疾患を調査したところ、疾患の無い者64名、疾患の有る者38名であった。その内多い疾患としては複数回答を含んで白内障が25名、乱視が11名であった。

##### 4) 実験方法

被験者を実験装置内で5分間暗順応させた後、順応を保ちながらより暗い状態で視認できる対比の大きな視標から順に提示して、大きなランドルト環から順に1つずつ、被験者切れ目が「やっと見える明るさ」に自身に調光させた。その時の視標直上部照度を測定しこれを背景輝度に換算した。測定は各被験者1回ずつ行った。

#### 3.7.2 実験結果

##### 1) 全被験者を対象とした視認閾値

全被験者102名のうち50%以上の被験者が視認できたものについて必要背景輝度を個々のランドルト環ごとに対数平均し、ランドルト環の大きさと輝度対比、および必要背景輝度の3者の関係を求めた結果を図3-16に示す。

図3-16より、ランドルト環視標の視力が大きくなるに従って（＝ランドルト環の切れ目の大きさが小さくなるに従って）、また、輝度対比が小さくなるに従って必要背景

輝度が高くなることが明らかである。

また、視標の視力が1.0を超えると輝度対比や背景輝度に関係なく視認できなくなる  
 こと、さらに、視標の視力が1.0以下の視標(=ランドルト環視力1.0よりも大きな視  
 標)についても必要背景輝度100~200cd/m<sup>2</sup>を境として低い背景輝度では視認できな  
 くなることがわかった。これは照度に換算すると350~700 lxの明るさであり<sup>3)</sup>、視距  
 離1mにおけるサイン等を計画をする場合に、文字を視認するなどの細かい視作業での  
 高齢者の必要最低照度ととしておきかえて考えることができよう。

## 2) 白内障疾患からの検討

疾患の無い被験者群と、疾患の種類として最も多かった白内障の被験者群とを分類・  
 抽出して、それぞれ50%以上の被験者が視認できたことで得られた必要背景輝度を対  
 数平均により求めた。これより両群の等視力線図を示したものが図3-17である。図3-17  
 より、全ての視標において、白内障疾患の場合は疾患の無い場合よりも必要背景輝度が  
 高いことが明らかとなった。

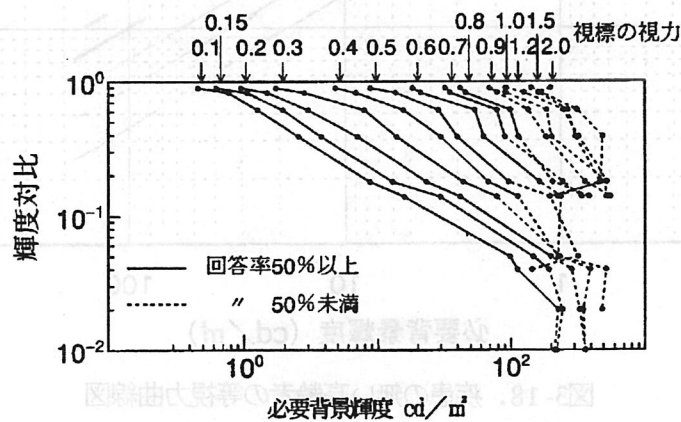


図3-16. 全被験者の等視力線図

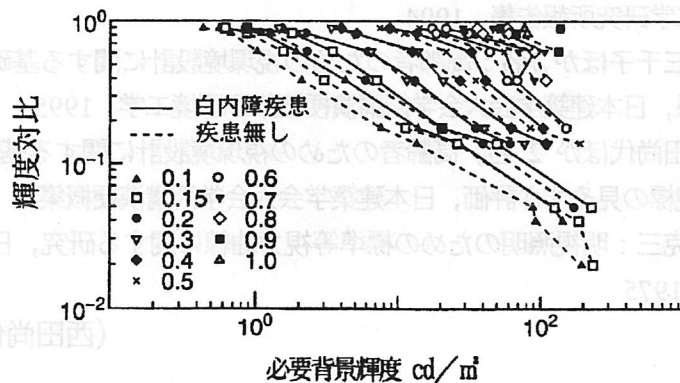


図3-17. 疾患の無い高齢者と白内障の高齢者の等視力線図

### 3) 青年との比較

高齢者の視認能力と青年の視認能力を比較検討するため、疾患の無い被験者群の等視力曲線を求めて図3-18に示す。

図3-18より、疾患の無い高齢者の必要背景輝度を20歳代青年の必要背景輝度<sup>4)</sup>で除して倍率の累積頻度分布を求めた結果、累積相対度数50% (中央値), 80%の値はそれぞれ17倍, 29倍となり、閾値条件においては、疾患の無い高齢者であっても青年と比較して、極めて高い背景輝度が必要であることが明らかとなった。

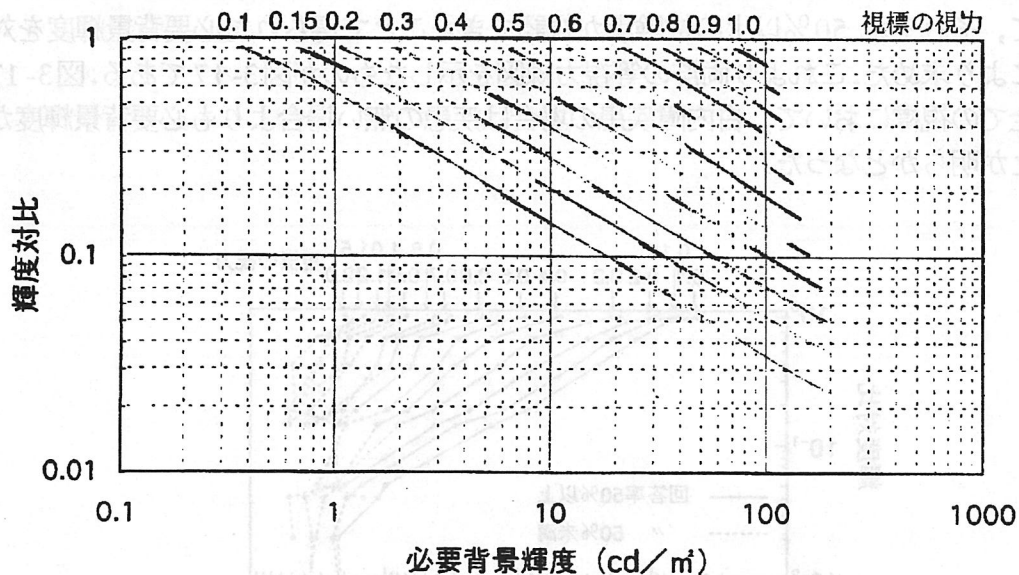


図3-18. 疾患の無い高齢者の等視力曲線図

### 参考文献

- 1) 岩田三千子：高齢者のための視環境設計に関する基礎的研究，高齢者の視認閾値，兵庫県福祉のまちづくり工学研究所報告集，1994
- 2) 西田尚代，岩田三千子ほか2名：高齢者のための視環境設計に関する基礎的研究 1. 視認閾値と視力との関係，日本建築学会大会学術講演梗概集D環境工学，1995
- 3) 岩田三千子，西田尚代ほか2名，高齢者のための視環境設計に関する基礎的研究 ランドルト環および漢字視標の見やすさ評価，日本建築学会大会学術講演梗概集D 環境工学，1995
- 4) 中根芳一・伊藤克三：明視照明のための標準等視力曲線に関する研究，日本建築学会論文報告集，第229号，1975

(西田尚代，岩田三千子)

### 3.8 研究報告 —デザイナーの立場から

#### ■視覚の正常老化

加齢に伴い好むと好まざるとにかかわらず正常老化により視覚機能は低下する。正常老化には視力の低下、水晶体の濁りと黄変、水晶体のピント調節機能の低下、明暗順応の低下、視野が狭くなるなどがあげられる。したがって40歳代で近くの見にくくなり、老眼が生じる。また50歳代では濁りと黄変が徐々に始まる。これは、水晶体の加齢変化によるもので、健康を保ってきた人でも起こる“正常老化”の典型である。

この調査研究は、“高齢者にとって使いやすい商品づくり…操作性について”の基礎として諸文献をベースに、操作部のデザインを行ううえでの留意点を抽出し(1)水晶体の黄変による視界の色相変化の特徴、(2)配色による表示文字の視認性について考察したものである。

#### <1>水晶体の黄変による視界の色相変化の特徴

##### ■水晶体の濁りと黄変

水晶体の濁りでは、本来透明である水晶体に濁りが生じ、光が散乱して物がぼやけて見え、濁りが進行すると目がかすんだり、物が二重に見えたりする。

また、水晶体の黄変では、水晶体の蛋白質が紫外線により変質し短波長の光が吸収される。また青錐体の感度が落ち、視界が黄変する現象が生じる。そのため色の識別力が低下し、認識できる色数が減少する。

- ・黄色系の白色化
- ・青緑、青色系の緑化
- ・青色系の黒色化
- ・紫色系の褐色化 などがあげられ、特に黄色系と青色系の認識が低下する。

50歳代の人で60%、90歳代ではすべての人に水晶体の濁りと黄変の症状が現れる。

(1) 水晶体の濁りが周辺部から中心部へ徐々に進行するため初めのうちはまったく自覚されないが、やがて製品の誤操作が生じ、高齢者の民生機器、公共機器離れ現象の一因となりうる。

##### ■操作部のデザインを行うときの留意点

- 1) 色相の差により機能表示を行う場合は、黄変により色相が変化することを考慮し配色を行う。
- 2) 黄の白色化、青、青紫の黒色化など、黄変により明度が変化するためコントラストを考慮する必要がある。

#### <2>配色による表示文字の視認性について考察

##### ■高齢者の表示の視認性についての検討

高齢者による表示文字の視認性を現状把握するため“消費者問題としての表示に関する家政学的研究”(2)の調査データをベースに文字天地(高さ)と文字色、背景色の関係について考察し、操作部のデザインを行ううえでの留意点の抽出を行った。ここでは“眼鏡をかけて見える”に特定し報告する。

##### ◎家政学会で行われた調査方法

- a) 文字天地 2.0mm~9.0mm

- b) 文字色 赤, 黄, 緑, 青, 紫, 白, グレー, 黒
- c) 背景色 白, グレー, 黒
- d) 書体 和文中ゴシック, 英数字ヘルベチカレギュラー
- e) 調査対象 65~74歳: 568人 75歳: 311人
- f) 条件 眼鏡あり/なし, 見える/楽に見える
- g) 質問項目 ~どの文字天地まで見えますか? 面接記入方式

■文字色別文字天地の視認性

高齢者が視認できる文字天地の平均は3.7mm以上であった。これを年齢差でみると、文字の平均値天地については、75歳~の場合は、65~74歳より0.5~1mm文字天地が大きくなることが読み取れる。また、配色別にみると背景色白、グレーと背景色黒の場合、見やすい文字色が逆転することが読み取れる。(表1)

表3-2. “眼鏡をかけて見える”文字色別文字天地

背景色	眼鏡あり					
	白		灰		黒	
文字色	65~74歳	75歳~	65歳~74歳	75歳~	65歳~74歳	75歳~
赤	2.35mm	2.65mm	2.20mm	2.95mm	2.80mm	3.14mm
黄	2.60	3.00	3.07	3.70	2.45	2.80
緑	2.40	2.80	2.55	2.95	2.80	3.21
青	2.40	2.75	2.50	2.90	3.21	3.77
紫	2.45	2.80	2.65	2.95	2.75	3.35
黒	2.40	2.75	2.50	2.85		
灰	2.55	2.95			2.50	2.80
白			2.85	3.42	2.60	3.00

■文字色別文字天地の視認率

文字天地ごとに“眼鏡をかけて見える”割合をグラフ化し、そのカーブから各配色による視認率の低下を読み取ることができる。(図3-19)

1) 65~74歳(背景色白, 文字色赤の場合)文字天地4.4mmが見える人は全体の98%, 文字天地2.0mmが見える人は全体の65%, 文字天地3.0mm以下になると視認率の低下が大きい。

2) 表3-3に視認率95%, 90%, 80%の人が見える文字天地を示す。この結果, 文字天地は, 配色により2.5~7.0mmとばらつきが見られた。表示の視認率には配色が大きく影響することが読み取れる。

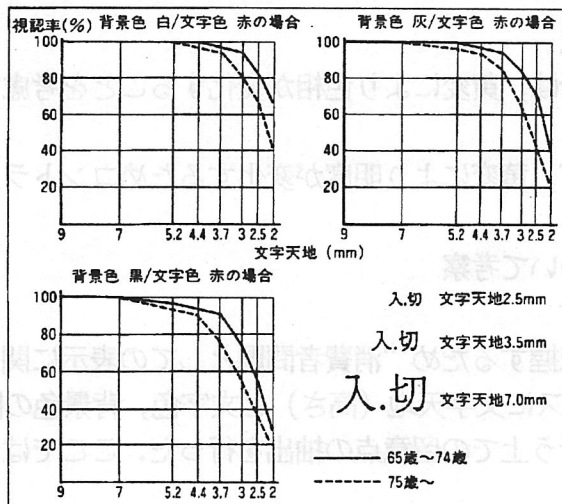


図3-19. “眼鏡をかけて見える”文字天地別視認率

■操作部のデザインを行うときの留意点  
個々の表示の目的, 内容の頻度, 重要度に応じた背景色, 文字色の配色を考慮し, 文字天地を設定する必要がある。

表 3-3. 配色による視認率別文字天地

背景色	文字色	65歳~74歳			背景色	文字色	75歳~		
		95%	90%	80%			95%	90%	80%
白	赤	3.7	3.0	2.5	白	赤	4.4	3.7	3.0
	黄	4.4	3.7	3.0		黄	5.2	4.4	3.7
	緑	3.7	3.0	3.0		緑	4.4	3.7	3.7
	青	3.7	3.7	3.0		青	4.4	3.7	3.7
	紫	4.4	3.7	3.0		紫	4.4	3.7	3.0
灰	赤	4.4	3.7	2.5	灰	赤	5.2	4.4	3.7
	黄	4.4	3.7	3.0		黄	5.2	4.4	3.7
	緑	4.4	3.7	3.0		緑	5.2	4.4	3.7
	青	4.4	3.7	3.0		青	5.2	4.4	3.7
	紫	4.4	3.7	3.0		紫	5.2	4.4	3.7
黒	赤	4.4	3.7	3.0	黒	赤	7.0	4.4	4.4
	黄	5.2	4.4	3.7		黄	5.2	4.4	3.7
	緑	5.2	4.4	3.7		緑	7.0	5.2	4.4
	青	5.2	4.4	3.7		青	7.0	5.2	4.4
	紫	5.2	3.7	3.0		紫	5.2	4.4	3.7

<3>まとめ

■操作部のデザインを行うときの留意点

- 1) 色相の差により機能表示を行う場合は、黄変による色相の変化を考慮し配色を行う必要がある。
- 2) 文字色、文字天地を設定する場合は配色による視認性を確認する必要がある。
- 3) 背景色、文字色を設定する場合は、近似する明度でないことを確認する。

以上の項目をベースに操作部のデザインを行う場合は、表示の目的、内容の頻度、重要性に応じ背景色、文字色の配色、文字天地を設定することが大切である。

また、“視界の黄変による変化”を考慮し、疑似フィルタを通し黄変による色相の変化を見極めることが重要である。現在 HOYA (株) の LA120 (商品 MCW12) と日本ウェルエージング協会作成インスタントシニア体験の疑似フィルタにて“視界の黄変による変化”の疑似体験を実施している。

補足：HOYA (株) の LA120 の設定について

手術で摘出した方の水晶体の分光透過率を測定したデータ (3) を基に、近似の分光透過率を持つ市販のフィルタを入手した。それが HOYA (株) の LA120 (商品 MCW12) である。(図 3-20) “より使いやすい商品づくり”にこの調査研究結果を活用していきたいと考えている。

(今回の報告は 東芝レビュー 1994 Vol.49 No.10 を要約し掲載したものである。)

参考文献

- 1) 第 29 回ゼロントロジー公開講座…老化と白内障, 東京都老人総合研究所, pp.17~34(1988)
- 2) 岩崎芳枝: 消費者問題としての「表示」に関する家政学的研究, 家政学会色彩意匠部会, pp159~178 (1992)
- 3) 第関東眼科学会特別講演 白内障手術の歴史及び実際に手術をうけてみて (抜粋) 資料より

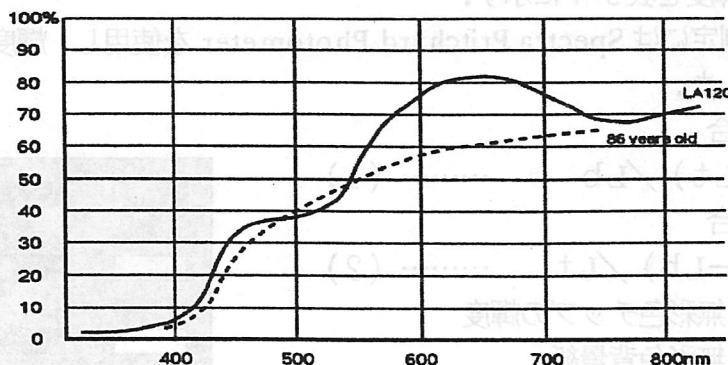


図 3-20. 摘出した水晶体と LA120 の分光透過率の比較

(菊地里子)

### 3.9 視認性に基づく非常用照明の照度基準の検討

建築基準法第二百二十六条の四および五において、同基準法でいう居室の非常用照明装置に関する設置基準並びに構造基準が定められている。その中で、第二百二十六条の五第一項では、非常用照明装置の照度基準について「照明は、直接照明とし、床面において一ルクス以上の照度を確保することができるものとする。」としている。さらに、日本照明器具工業会においては保安誘導灯の床面照度の基準値が検討されており、その値には0.2ルクスが提示されている。もとより、床面照度1ルクスの基準値は火災時を想定したもので、平坦な歩行路において避難時の歩行速度が極端に低下しないことを条件に決められた値である。

しかし、地震災害時には床にさまざまな物が落ちていたり床そのものが壊れるなど平坦な歩行路は確保しにくい。従って、平坦な歩行路を想定した非常用照明の基準値は、地震時の避難誘導においてどの程度有効であるか明らかでない。本研究では、地震時の避難条件のうち歩行路の視覚による安全確認をとりあげ、現行の基準値での視認性について、青年および高齢者を対象としてこれを検討した。

#### 3.9.1 実験概要

##### 1) 実験方法

21歳～24歳の学生9名（男性7名、女性2名、平均年齢22.4歳）と、64歳～77歳の高齢者22名（男性17名、女性5名、平均年齢69.0歳）を被験者とした。

天井面に直管AAA昼白色蛍光灯を設置した暗室内において、床面照度を500lxに設定して被験者を立位で約10分間順応させた。その後、瞬時に床面照度を1lxに低下させて床面に実験視標を提示し、「よく見える」、「見える」、「見えにくい」、「見えない」の4段階の言語尺度を用いて評価させた。

続いて床面照度を0.2lxに設定して評価させた。実験に要した時間は一人当たり約5分であった。

##### 2) 実験視標

A4サイズの黒灰、灰、白灰、白の4段階の無彩色背景紙に、64mm×30mm大のN1～N9の9種類の無彩色チップを貼付した実験視標（図3-21参照）を作成した。無彩色背景紙の輝度を表3-4に示す。

なお、輝度の測定にはSpectra Pritchard Photometerを使用し、輝度対比は(1)、(2)式で算定した。

Lb>Ltの場合

$$C = (L_b - L_t) / L_b \quad \dots\dots (1)$$

Lb<Ltの場合

$$C = - (L_t - L_b) / L_t \quad \dots\dots (2)$$

ただし、Lt；無彩色チップの輝度

Lb；無彩色背景紙

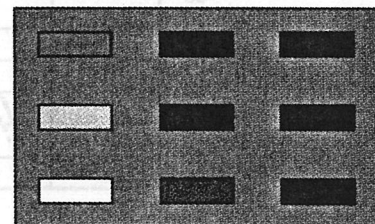


図3-21. 視標

表 3-4. 無彩色背景紙の輝度

	黒灰	灰	白灰	白
1 lx	0.028	0.051	0.083	0.140
0.2 lx	0.0053	0.0104	0.0145	0.026

### 3.9.2 実験結果

#### 1) 輝度対比と評価率

背景紙とチップとの輝度対比別に「よく見える」、「見える」、「見えにくい」、「見えない」の4段階評価の人数比を求めた。図 3-22 に高齢者の床面照度 1 lx の場合の結果を例示する。

高齢者、青年ともに輝度対比の絶対値が小さくなると「見えにくい」、「見えない」という否定的な評価が多くなった。また、概して輝度の絶対値が大きいとき青年は高齢者よりも最高尺度の「よく見える」の評価が多く、輝度の絶対値が小さいとき青年は高齢者よりも最低尺度の「見えない」の評価が多いことがわかった。すなわち青年は高齢者よりも明確な評価尺度を選択する傾向があることがわかった。

#### 2) 否定的評価と輝度対比

「見えにくい」、「見えない」の2種類の否定的評価に対する合計人数の割合が20%以上のとき、50%以上のときの輝度対比の範囲を図 3-23、図 3-24 に示す。その際、設計値として安全側を考慮する意味で出現した最大の絶対値を採用した。図中の黒の範囲が50%以上のとき、白の範囲が20%以上のときである。

床面照度 1 lx の場合には高齢者と青年との輝度対比の範囲はほぼ等しく、否定的評価が20%以上のとき高齢者-0.32~0.54、青年-0.33~0.55 であり、50%以上のとき高齢者-0.26~0.54、青年者-0.26~0.53 である。床面照度 0.2 lx の場合には、否定的評価が20%以上のとき高齢者と青年との輝度対比の範囲がほぼ等しく、高齢者-0.74~0.79、青年-0.66~0.72 であったのに対し、50%以上のとき高齢者は正の輝度対比の範囲がやや広く、否定的評価を与える輝度対比の範囲は高齢者-0.53~0.72、青年者-0.52~0.54 であった。

### 3.9.3 おわりに

地震災害時には平坦な歩行路が保証されにくく、非常用照明の基準値については、地震災害時を想定した場合には安全な避難誘導のために視覚をもとに検討すべきである。ここでは、建築基準法に定められた非常用の照明装置の床面照度基準値 1 lx と、照明器具工業会における保安誘導灯の床面照度基準値 0.2 lx について視認性の点から検討を行った。使用した評価視標は立位の姿勢では視角約1度の大きさに相当し、本研究結果は歩行路上の障害物を確認したり、壁面と床面とを区別して通路の方向を知る場合などの視認性に関する基礎資料として適用できると考える。

本報告は平成 9 年 3 月発行の社団法人照明学会関西支部「阪神・淡路大震災調査研究委員会報告書Ⅱ、大規模災害と照明」に掲載した原稿を一部加筆修正したものである。

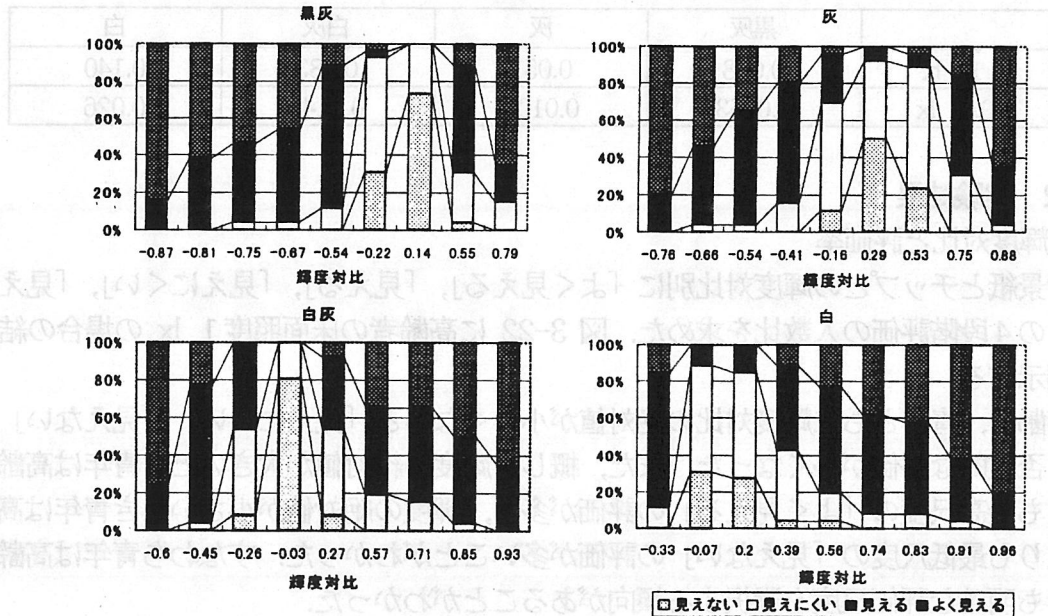


図3-22. 高齢者の床面照度 1 lx の場合の輝度対比と評価率

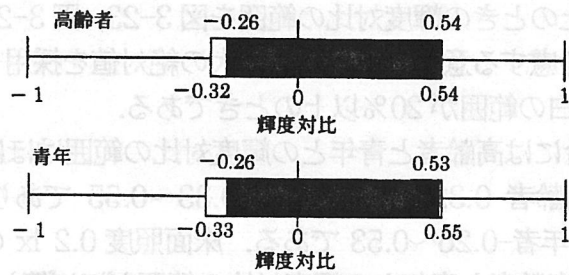


図3-23. 床面照度 1 lx の場合の否定的評価を与える輝度対比の範囲

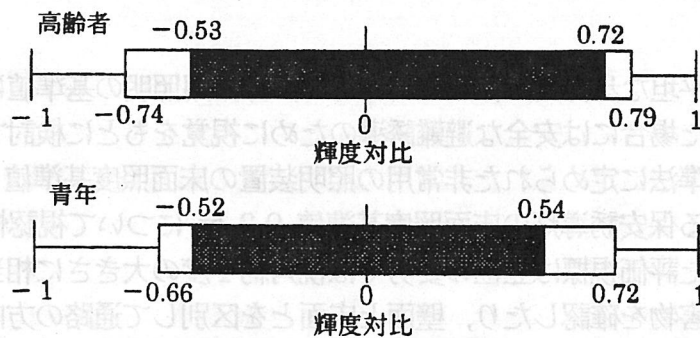


図3-24. 床面照度 0.2 lx の場合の否定的評価を与える輝度対比の範囲

(岩田三千子)

### 3.10 光源光色の生理学的影響について

#### 3.10.1 光刺激の生理学的影響

生体リズムの調和が人間の健康や疾病に対する抵抗力の維持に深く関与しており、その生体リズムの調和に光刺激が大きく関与することが、様々な研究で知られるようになってきた。人は日常的に外光によって常に変動した高照度光に暴露された生活を送ることで光刺激の効果を受けている。しかしながら、外出する機会が減り、昼光刺激があまり受けられない高齢者や要介護者、オフィスなどの安定した（変動の少ない）人工照明下に長時間暴露される若年者など、生体リズムの乱れや自律神経系に変調をきたしやすく、季節性感情障害や痲ほうを引き起こす危険性があると言われている。

人には他の哺乳動物と同様に概日リズムが存在することが知られている。人の概日リズム周期は 24 時間よりわずかに長く、深部体温、自律神経系の交感神経と副交感神経、内分泌系などの生理的な活動レベルはこのリズムにしたがっている。しかしながら、自然光の明暗、色温度の周期的な変化という時間の手がかりが、大脳視床下部の視交叉上核と呼ばれる部位が持っている概日リズムのために日々生ずるはずの位相のずれをリセットして 24 時間周期を維持している。

昼光がなくなると視床下部の松果体と呼ばれる内分泌腺からメラトニンが分泌され、これにより、体温を下げ睡眠へと人の身体は導かれる。松果体は網膜からの信号の一部を受けているため、その機能は一日の明暗のリズムにしたがって変化し、メラトニンを光のない夜間に分泌することになる。その、分泌量は光によって大きく影響され、過剰に分泌されると連動して、消化器系や循環器系などの自律神経系機能障害を呈することも多く、種々の生体リズムに障害が発生する。このようメカニズムから不適切な光環境に長期間暴露された場合、健康障害が生じることになる。

#### 3.10.2 生理学的指標

心拍動の間隔は、呼吸や循環の調節に伴う自律神経活動を反映して 1 拍ごとにゆらいでいる。このような心電図のゆらぎを心拍変動と呼び、通常 R-R 間隔変動として測定する。心電図の R 波の時間間隔（心電図には 1 回の拍動ごとに R 波という大きな波が現れる。R 波と R 波の時間間隔を R-R 間隔といい、心臓の拍動周期の指標として用いられる）を測定し、それを時間軸に対してプロットしていくと周期的な変動が現れる。この変動には呼吸パターンと同期したものがみられる。心拍変動には異なる周波数を持つ 2 つの成分が存在する。1 つは呼吸性洞性不整脈（RSA）であり、呼吸周波数と同じ周波数を示し、その大きさは副交感神経活動の指標とされ、心拍数を抑制する。もう 1 つは血圧変動に関連した約 0.1Hz の周波数をもつ Mayer 波であり、血管運動性交感神経活動を表現していると考えられ、自律神経全体の興奮を示している。心拍数は心臓の交感神経及び副交感神経のバランスによって決定されている。一方、その情報は心臓血管系を通して心臓中枢にフィードバックされる。その際、高次中枢や呼吸中枢からも心臓中枢に情報が行くため、心拍は常に一定とは限らず、瞬時的な変動性を持つようになる。このことから心拍の変動性を用い、心臓の自律神経活動の評価が多くなされてきた。心拍の変動性を示す周波数の 2 つの帯域の割合によって自律神経系の活動度すなわちストレスやリラクスの度合いを推定することができる。

高周波帯域パワー積分値 (High Frequency Component ; HF : 0.15 Hz ≤ HF) のピークは 0.25 Hz の近くにあり, RSA を含む高周波帯域パワー値として心臓交感神経活動に関連している. 一方, 低周波帯域パワー積分値 (Low Frequency Component ; LF : 0.03 ≤ LF < 0.15Hz) のピークは 0.1 Hz の近くにあり, 低周波帯域パワー値として圧受容体反射を介し, 心臓の交感神経と副交感神経の活動を反映する. LF/HF 値は心臓交感神経活動指標であり, 光刺激によりこの値が上昇すれば興奮状態やストレスを感じていると考えてよい. 一方, HF/(LF+HF)値は心臓副交感神経活動指標であり, 副交感神経の活動度をあらわし, この値が大きくなれば興奮が抑制されたと考えられる.

これまでの心拍変動への影響に関する検討では, 照度による影響は小さく, 昼光色 (6,700K) 刺激により LF, HF ともに高くなり, 人が活動的になる日中の昼光に近似した高色温度で自律神経の興奮が亢進することが示唆されている.

### 3.10.3 被験者実験

#### (1) 実験概要

色覚などに異常のない青年7名(女子5名, 男子2名, 平均年齢22.4才), 高齢者7名(女子4名, 男子3名, 平均年齢68.7才)を被験者として, 室温20°C, 相対湿度50%に調節した実験室(模擬居間)において色温度の異なる照明環境下で読書をさせ, 暴露前後の心拍変動(心電図), 血圧, 皮膚表面温度(鼻部), 深部体温(鼓膜温)等の生理的指標への影響を検討した. 使用光源は電球色蛍光灯(FL40SS・EX-L/37)および昼光色蛍光灯(FL40SS・EX-D/37)で, 電子安定器, コントローラーにより被験者各人の読書に適した照度に連続調光させた.

(2) 実験手順 昼光色で測定後1度退室し, 2時間後に電球色で計測した.

- 1) 心電計電極を装着し, 30分間温湿度及び500 lx (4800K) に順応させる.
- 2) 好ましい明るさに各自調光させる.
- 3) 開始直後に5分間安静にさせ, 皮膚温, 鼓膜温, 血圧測定を行う.
- 4) 30分間, 椅座にて読書をさせる.
- 5) 終了直前に5分間安静にさせ, 皮膚温, 鼓膜温, 血圧測定を行う.
- 6) 光源光色の温熱感などの主観評価を行う.

#### (3) 実験結果

1) 設定照度 被験者の設定照度は表3-5に示すように青年高齢者とも変動が大きい.

表3-5. 設定机上面照度

	電球色		昼光色	
青年	av.818 lx	s.d.289 lx	av.820 lx	s.d.246 lx
高齢者	av.964 lx	s.d.161 lx	av.961 lx	s.d.263 lx

#### 2) LF/HF 値 (心臓交感神経活動指標) について

青年では, 昼光色ではやや増加してストレスを受け, 電球色では有意に小さくなり, ストレス値が低下することが認められた. しかし, 高齢者ではどちらの光源でも若干低下するものの有意な傾向は認められなかった.

### 3) HF/(LF+HF)値 (心臓副交感神経活動指標) について

青年, 高齢者とも電球色で増加する傾向が認められ, 副交感神経の活動度が上昇して, 交感神経に拮抗的に作用, すなわちリラックスさせる方向に作用していると考えられる。

### 4) 血圧, 皮膚表面温度, 鼓膜温について

いずれも, 有意な傾向は認められなかったが, 高齢者の血圧は最低, 最高血圧ともに電球色, 昼光色いずれも実験前より実験後では上昇している。設定温湿度に対して, 青年は高齢者よりやや寒いと評価しているが, 高齢者はどちらでもないとし, 環境からの刺激に対する応答の悪さが示唆された。

### 5) 老化の影響について

老化により松果体細胞は減少するため, 光刺激に対するメラトニン分泌の応答が鈍化することが考えられている。したがって, この程度の暴露時間や刺激では有意な反応を示さなかったと考えられる。

図3-25に, 実験結果の一例を示す。

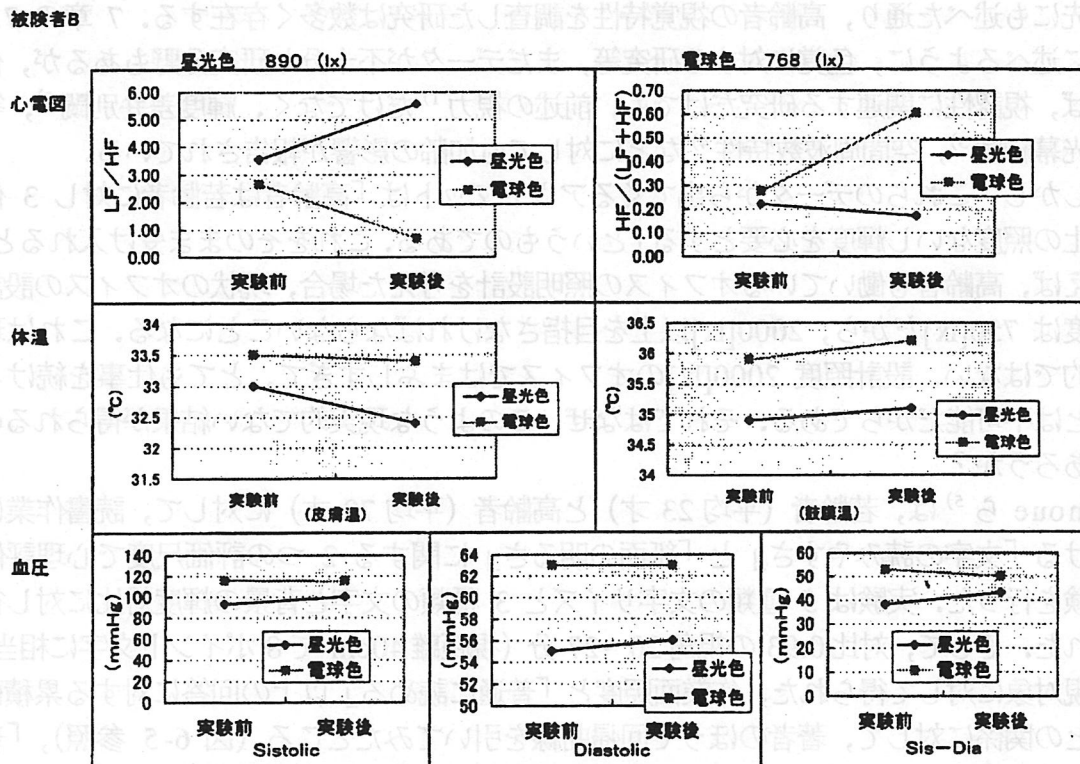


図3-25. 光源光色の生理学的影響の実験結果の一例

(土井 正)

## 第4章 高齢者に関する内外の研究動向

高齢社会に向けて、高齢者のための快適かつ安全な環境作りが世界的に注目されるようになり、そのような社会環境整備のためのさまざまな研究やプロジェクトが現在進行中である。本章では、このような国内外の全般的な動向を、照明についての問題についてまとめるとともに、その他視覚に関わる分野の研究に関して、政府研究所関連の研究や内外の研究動向、また学会での報告例などについて取り上げる。

### 4.1 高齢者照明の問題の動向

高齢者の視覚特性を調査した研究や高齢者を対象とした照明の評価実験はかなり以前から行われており、照明学会においても10年以上前に発足した調査委員会の中で、年齢層別順応輝度と視力との関係が報告されている<sup>1)</sup>。そして、その他にも数多くの研究者から、高齢者の視覚特性を調査する研究が行われ、数多くのデータが出てきている。

しかし、いまだ「高齢者に対応した照度基準はないのか?」とか、「高齢者に適した光色はなにか?」という声は途絶えることがない。一方で、これらの質問に答えられる理論も確立されていない。これだけの数多くのデータがありながら、なぜ実際の照明に具体的に応用展開されてこなかったのかをここで考えてみる。

先にも述べた通り、高齢者の視覚特性を調査した研究は数多く存在する。7章の7.2節に述べるように、色覚に対する研究等、まだデータが不十分な研究分野もあるが、例えば、視認性に関連する研究だけでも、前述の視力<sup>1)</sup>だけでなく、輝度差弁別閾<sup>2)</sup>、等価光幕輝度<sup>3)</sup>、空間周波数特性<sup>4)</sup>などに対しても加齢の影響が報告されている。

しかし、これらのデータから出てくるアウトプットは「高齢者は若齢者に対し3倍以上の照度ないし輝度を必要とする」というものである。これをそのまま受け入れると、例えば、高齢者も働いているオフィスの照明設計を考えた場合、現状のオフィスの設計照度は750[lx]だから、2000[lx]以上を目指さなければならないことになる。これは現実的ではない。設計照度2000[lx]のオフィスではまぶしすぎて、とても仕事を続けることは不可能だからである。それではなぜ、このような現実的でない結果が得られるのであろうか?

Inoueら<sup>5)</sup>は、若齢者(平均23才)と高齢者(平均70才)に対して、読書作業における「文字の読みやすさ」と「紙面の明るさ」に関する2つの評価尺度で心理評価実験を行った。実験は5種類の文字サイズと3種類の文字と背景の輝度対比に対し行われた。そして、対比0.93の視角20~27分(視距離40cmで8ポイント文字に相当)の視対象に対して得られた、作業面照度と「普通に読める」以上の回答に対する累積確率との関係に対して、著者のほうで回帰曲線を引いてみたところ(図6-5参照)、「普通に読める」以上の回答を得た累積確率が50%以上となる照度は、若齢者が20[lx]に対し、高齢者は500[lx]であった。その一方で、「紙面の明るさ」に対して同様の分析を行ったところ、50%以上が「ちょうど良い紙面の明るさ」と感じる照度の範囲は、若齢者が80~3000[lx]であるのに対し、高齢者は500~3000[lx]と、若齢者と高齢者間の比は「文字の読みやすさ」に対してかなり小さい値となった。すなわち、「文字の

読みやすさ」という観点からの評価と「紙面の明るさ」に基づく評価というように、評価方法が異なると、得られる結果は異なるのである。

また上記結果から、8ポイントと言う比較的小さな文字であっても、500[lx]以上あれば、70才の50%の人は「普通に読める」ことが分かる。そしてこれらの結果より、例えば、「普通に読める」以上の視認性を確保することを目的とした実験で心理評価実験を行った場合、通常のオフィス空間の設計値である750[lx]もあれば、若年者のみならず、高齢者に対しても問題ないという実験結果が出てくることが推測できる。しばしば心理評価実験で、高齢者と若齢者に対して差が出ないという結果や、高齢者よりも若年者のほうがより高い照度を求めているという結果が報告されているが<sup>6)</sup>、それは若齢者にとっても高齢者にとっても満足される照明条件が提供された中で実験を行ったためと推測できる。

以上述べてきたように、評価方法、ならびに実験条件の違いによって得られる結果は異なるのである。従って、評価方法や実験条件に対する検討をよくせず、「高齢者は若齢者に対し3倍以上の照度ないし輝度を必要とする」という結果をそのままのみにするのは問題がある。

また例えば、目標とする視力を得るために必要な輝度という実験結果が高齢者に対して得られたとすれば、この必要な輝度とは何であるかという検討が必要である。高齢者と若齢者間で差があると報告した研究の多くは、問題ないとされる領域を脱するような「見にくい」と感じはじめる下限値や、「まぶしい」と感じはじめる上限値を求めることを目的としている。したがって、それら視覚特性データから得られた出力値は、照明設計上、最低限守らなければならない値であり、その値が適切な設計値そのものではないのである。

本来なら、これら得られた上限値と下限値との間に設計値が入るよう検討し、最適な値を模索するべきであるが、現段階では、上限値と下限値だけを見て、「高齢者は若齢者の何倍？」と言う議論が先走っている感がある。

さらに、視覚特性データに対して与えるインプット値に対する検討も重要である。例えば、中根<sup>7)</sup>は読書作業における適正照度を検討する実験を行い、「対比0.85の8ポイントの文字を読むのに必要な視力は0.53である」という結論を得ている。このような関係が明らかになれば、対象とするサイズの文字を読む読書作業に必要な照度は、その文字サイズを読むのに必要な視力を得るための照度と言うことになり、前述の輝度と視力との関係を求めた実験データ<sup>1)</sup>を使うことができる。

このように視覚特性データを使う上で、そのインプット値として何を入れるかが分かってないと、その実験データは活かされることはない。対象とする照明空間に必要とされる視力、輝度差弁別閾、輝度対比などを明らかにすることもまた必要であり、既往研究で得られた視覚特性データを活用するためには把握しておかなければならないものである。

## 参考文献

- 1) 栗田正一ほか:新時代に適合する照明環境の要件に関する調査研究報告書,照明学会編(1985)



## 4.2 政府研究機関の高齢者プロジェクト

国の研究機関に求められる研究は、社会に有用でかつ企業の開発・研究では取り組みにくい（従って利益に優先されない）技術の開発と蓄積である。その点で、高齢者に関するいくつかの研究は、まさに国に求められている研究であると言えるかもしれない。本節では、政府研究機関およびその関連機関で行っている研究（表1参照）を概観する。

表1 政府研究機関およびその関連機関で行っている主な高齢者研究

制度	プロジェクト名	実施期間
標準基盤研究	まぶしさ感覚の計測法の検討およびデータ収集	平成5～7年度
	色覚変化計測法の検討およびデータ収集	平成7～11年度
	高齢者の聴覚機能変化の計測とデータベース化	平成8～12年度
	生活用品の高齢化社会対応に関する標準基盤研究	平成7～11年度
科技庁振興調整費 (生活社会基盤研究)	高齢社会における製品・生活環境等のユニバーサル化に関する研究（エイジレス・エンバィロメント・テクノロジー）	平成9～11年度
その他	高齢者における注意・動作特性の計測・評価技術の研究	平成5～8年度
	身体機能データベースの構築に関する調査研究 （高齢者視覚機能に関する研究）	平成5～8年度
	高齢化を支える保険・医療等に関する生活情報システムの構築と効果的な活用に関する研究	平成5～7年度

標準基盤研究とは、社会にとって共通の基盤技術開発や基本データの蓄積を行うための研究であり、近年の社会の高齢化に対応するためこのところ高齢者を視野に入れた研究が増えつつある。表1にあげられた標準基盤研究の四項目もそうしたものの一部である。ここではこのうち、視覚研究に関連する二項目についてまとめてみる。

### ◎まぶしさ感覚の計測法の検討およびデータ収集

目的には、高齢者の心身特性にあわせた生活環境作りを可能にするうえで、視覚機能に関わるまぶしさの計測手法の開発・標準化を行うものであるが、基本的にはグレアによる視覚機能低下の計測手法の開発と特性の計測を行った。実験では、調整法による心理評価実験とBCD実験とを行っており、前者では加齢とともに正面よりも周辺からの光に対してよりまぶしさを感じることを示されたが、BCD実験からは逆に正面からの光に対してまぶしさを感じることを示されており、計測法による傾向の違いについて検討を要する。

### ◎色覚変化計測法の検討およびデータ収集

高齢化による色覚機能変化の特性を計測し、色覚機能の低下した高齢者にとって十分な情報伝達が可能な色刺激について検討することが目的である。具体的には、視覚系の分光視感効率を年齢のパラメータとして計測し、加齢による短波長領域の効率低下についてのデータベースを作成するとともに、色の見えの変化についてカテゴリー性を利用して計測を行う。このうち現時点では、年齢別の分光視感効率曲線が求められている。

一方、科技庁振興調整費では、現在エイジレス・エンバィロメント・テクノロジーとよばれるプロジェクトが進行中である。このプロジェクトでは単に高齢者とその研究の中心にとらえるのではなく、若年者も高齢者も共に快適で安全に生きられる社会構築のために、科学技術としての立場からどのような手法が可能なのかを検討している。この中では、最近広がり始めた誰にでも使いやすい製品や環境をアレンジするためのユニバ

ーサルデザイン（バリアフリーは高齢者・身障者のために特化された概念である点で異なる）という概念のもとで、共生のためのデザインとはどうあるべきかの研究が行われている。具体的には、以下の4項目での分業体制がとられている。

（1）生活場面から見た共生特性に関する研究

（2）高齢者の側から見た共生のための条件に関する研究

（3）製品・生活環境等の評価体系に関する研究

（4）製品・生活環境などのユニバーサル化を促進するための支援技術に関する研究

このうち、（2）では視覚や聴覚、動作行動などの基礎的データを収集し、これを（1）の日常場面の中で得られる各特性と関連させ、（3）における評価体系の中にどう組み込み、また（4）の支援技術（例えば体験シミュレーションなど）の中にどう生かすかを研究することが、新たなユニバーサルデザインの方法論を提供するものと言える。

さらに、その他の研究では視覚分野に関連して以下の2点があげられる。

#### ◎高齢者における注意・動作特性の計測・評価技術の研究

これは工業技術院における特別研究として行われたもので、高齢者の注意や動作特性における加齢特性を明らかにすることで人にやさしい生活環境システムの設計に役立つ計測・評価技術の開発を行い、高齢者居住空間評価システム技術の確立をめざすというものである。このうち視覚関連では注意の視覚特性について、時間分解能や有効視野、有効視野に対するノイズの効果、さらには眼球運動による注意の切り替え特性などが調べられてきた。そして、高齢者の有効視野が若年者のそれよりも狭いことが示され、また短時間内の有効視野特性を明らかにするために、眼球運動を利用した新たな測定法などを開発している。

#### ◎身体機能データベースの構築に関する調査研究（高齢者視覚機能に関する研究）

この研究は、通産省関連の団体である人間生活工学研究センター（HQL）によって行われているもので、詳細については本章の4.4節を参照されたい。この研究の目的は、人に優しい商品・サービス・環境の提供と整備において、高齢者や障害者にも十分配慮した商品開発が可能となるような、高齢者の身体機能データベースを構築することにある。これまでに、視力や色弁別、暗順応、グレアなどのさまざまな視覚機能についての基礎的データが集められている。

#### ◎高齢化を支える保険・医療等に関する生活情報システムの構築と効果的な活用に関する研究

茨城県里美村において茨城県健康科学センターが中心となり実施された研究である。生命研の人間系の研究者も多数参加する形で実施された。その目的は、高齢者にとり、安全、健康で、より快適な生活環境の構築に必要な基礎資料として、日常生活のさまざまな行為に伴う動作・運動および注意機能に関する調査を行うところにある。この中では、高齢者の日常の住まいの中で何が問題になっているのかを実地で調査するとともに、視覚機能については、視力、色覚、注意視野などが調査されており、これらの視覚機能が特に60歳代以降の人々で、加齢とともに機能低下することが報告されている。

以上、政府研究機関等における高齢者の視覚に関わる研究を概観してきた。今後さらにこれまでに得られている知見をもとに、日常利用できるデータは何かを明らかにしていく研究が、今後ますます求められていくであろう。（氏家弘裕）

### 4.3 加齢工学研究所紹介を含む各国の高齢者研究への取り組み

加齢工学 (gerontechnology) とは、「加齢過程の知識と加齢する人々のさまざまな要求とを基礎として、快適な生活環境、労働環境さらには介護環境の向上をめざすための高齢者と技術とのインターフェース」である。(加齢工学については、加齢工学研究所のウェブサイトを参照：<http://www.tue.nl/gerontechnologie>) 世界各国で高齢者人口の全人口に占める割合が、増加傾向を示している現在、各国で高齢化社会に向けた取り組みが行われ始めている。そのような中で、加齢工学という言葉は、加齢学 (gerontology) と工学 (technology) との組み合わせによる造語として普及し始め、その内容に対する理解も広がりつつある。また、これに関連した組織的活動として、ドイツでは加齢工学国際学会 (International Society for Gerontechnology) が、オランダでは加齢工学研究所 (Institute for Gerontechnology) が設立されている。本節では、本委員会にて紹介されたこの加齢工学研究所の活動と、加齢工学国際学会やその他各国の高齢者研究の動向について概観してみる。

加齢工学研究所は、オランダのアイントホーベン工科大学に設立された研究所の一つで、「大学内外の加齢工学における教育や研究、さらにはこの分野の発展や知識の普及のための組織力を提供する」機関として設立された。そして、「加齢工学に関連する製品や技術の評価やサポート、発展を促進するとともに、加齢工学の可能性をデザイナーや生産者、政府関係者さらには高齢消費者自身に伝えるための活動のネットワークを広げている。」(前掲ウェブサイト) この研究分野は以下のような領域に分類される。

- ・ 住居と市街地の設計 (Housing and urban planning)
- ・ (室内室外の) 移動、交通技術とロボット工学 (Mobility (indoor and out door), transportation technology and robotics)
- ・ 健康、栄養学と介護 (Health, nutrition and care)
- ・ 知覚、認知、情報工学と情報伝達工学 (Perception, cognition, information- and communication technology)
- ・ 労働と訓練 (Work and training)

これまでに 85 の研究テーマが終了し、現在は 13 の研究テーマが進行中である。また、来年より「2000 年以降の加齢工学 (Gerontology beyond 2000)」という研究プロジェクトが開始される。これまでに行われてきた研究テーマのうち、視覚に関連した主な研究は以下の 2 件である。

#### (a) 視覚における選択的注意と加齢 (Visual selective attention and aging)

視覚的注意の年齢効果を次の手順で調べている。まず、周辺視における単純図形の定位と同定に対する注意の効果、次に、一様背景における単語の定位と同定に対する注意の効果、さらに絵画的背景のもとでの単語の定位と同定に対する注意の効果に関して実験を行った。そして視覚処理の加齢による遅延が脳半球間の伝達の遅延による可能性を報告している。

#### (b) 弱視におけるイメージ強調 (Image enhancement on low vision)

さまざまなタイプの弱視者に対して、コンピュータスクリーンやテレビ画面上でのテキストの提示はどのようにすれば効果的かを研究している。実験では、若年者と高齢

者とでコントラストやボケ具合をパラメータとして視力を測定した。その結果をもとに詳細なものについての知覚に関するモデルを構築している。

◎ところで、加齢工学に関する研究は世界各国で行われ始めている。1997年9月には加齢工学国際学会がドイツで設立されている。この会は活動が開始されたばかりで、現在はニュースレターを発行するとともに、国際誌の発行やウェブサイトの開設、さらには関連する団体との連携を試みている状況である。この他、フィンランドのオウル大学(Oulu university)では加齢工学についての研究グループがある。このグループでは、現在室内での高齢者の移動と安全に関する研究を行っており、コンピュータ支援の安全な住居の設計と日常活動支援のための加齢工学に関するソフトウェアの開発を行っている。(オウル大学の研究グループの活動については、以下のウェブサイトを参照：<http://www oulu.fi/~hyv.inweb/prger.html>) また、オランダでは1995年に経済省が中心となって、3年間の加齢工学に関する研究がスタートし、製品とサービスの設計と普及や安全性の向上についての調査が行われている。さらに、フランスでは雇用と連帯省(MIRE)と老齢年金省(CNAV)とによって1996年に「人口の高齢化と技術開発」なる研究プロジェクトが発足し、人口の高齢化と高齢者の生活スタイルとの連携についての研究が行われ、イギリスでは技術および物理科学研究審議会(EPARC)によって高齢者や障害者支援のための技術開発のプロジェクトが進行している。

△加齢工学についてはこのように、現在のところ欧州が中心となって高齢者とその生活に関わる製品や環境についての技術開発に関する研究を行っているようである。加齢工学という研究分野は、その起こりは最近であるが、関連分野として人間工学、加齢学、医学、心理学などがあり、これまでのこうしたさまざまな分野の研究の上に成り立っていることも事実である。このことは、高齢化を意識した住みよい環境を構築するためには、人間そのものをさまざまな角度から理解し、技術開発をしていく必要があることを意味している。そのためにも、各国が協力し情報の交換を盛んに行っていくことが必要であろう。

(氏家弘裕)

#### 4.4 HQLにおける高齢者身体機能データベース構築事業

現在、(社)人間生活工学研究センター(以下、略称HQL)にて、商品開発への応用を目的として、高齢者の特性を計測したデータベースを構築する取り組みが進められており、平成10年度には第1弾として視覚特性のデータ提供が開始される予定である。ここでは、この事業について紹介する。

HQLは平成3年に設立された団体であり、居住及び職場等の生活環境の質的向上に寄与し得る人間の感覚並びにそれを構成する身体及び心理に係る技術(「人間生活工学」)に関する研究開発、調査情報の収集および提供を行うことにより、生活関連を中心とした産業の振興を図り、生活の向上に寄与することを活動の目的としている。

主な活動の1つに人間の特性に関するデータベースの構築とデータの提供があげられ、HQLが最初に構築した人間の寸法のデータベースはこれまでに広く活用されている。これは平成4年から3年間にわたり全国規模で3万4千人の計測を行ってデータベースを構成したもので、取得されたデータは身体各部の寸法約180項目と形状をとらえた3次元の画像データで、計測数、項目数、そして画像データの収集の面で世界にも他に類をみない膨大なデータ量となっている。これらのデータは、衣料品、自動車、家電、OA機器、医療機器、眼鏡家具、住宅などさまざまな産業分野における製品設計や、衣料品、靴などのJISサイズ規格の改正のための基礎データとして広く活用されている。高齢者身体機能データベース構築事業も上記の人間特性に関するデータ提供を目的とした事業の一環であり、以下にこれについて述べる。

この事業の背景には、HQLが過去に実施した調査の中で、近年の急速な高齢化の流れにもかかわらず、商品や環境が高齢者に十分に対応できておらず、多くの高齢者が商品や環境に対して不都合、不具合を感じているということ、また一方でそれらを提供する企業は、高齢者に対する関心は高いものの、7割以上が高齢者のニーズに十分に対応できていないと認識していることが挙げられる。こうした生活者のニーズと企業の対応の不一致の要因は、一つに企業が高齢者の特性を十分に把握できないことにあると考えられる。企業が高齢者に適合した商品や環境を開発しようとしても、企画・設計のため

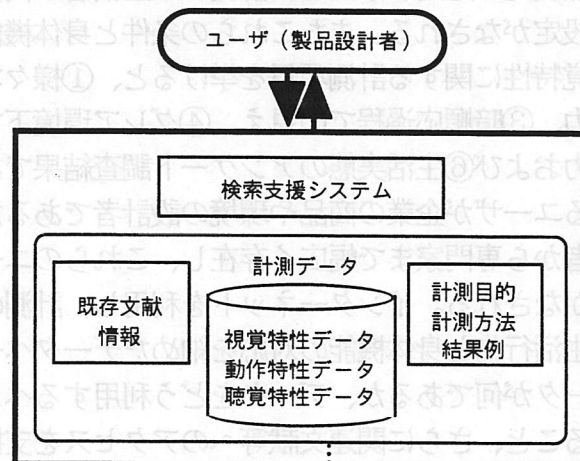


図4-1. 人間の特性に関するデータベースの構築とデータの提供

の基盤となる高齢者の身体機能に関する客観的かつ定量的なデータがない、あるいはデ

ータはあっても商品設計に生かせるものではないといった状況にある。

事業は平成4年度から基礎調査が始められ、平成5年度からは、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託も受け、現在にいたっている。データベース構築は大きく、どのような特性を計測するか、あるいはどのように計測するかといった方法論を検討する部分と、決定された方法によって多数の高齢者の特性を計測してデータベースを構築しこれをユーザに提供する部分とに分けられ、前者をNEDOからの委託で、後者をHQLの独自事業として分担している。また検討は広範な学界、産業界、政府関係者から構成される委員会組織において審議検討が行われる。

身体機能と一口にいても、多岐にわたる機能があり、また発揮される能力は条件により大きく変わるため、その数は膨大である。そのため、産業界のニーズおよび生活者のニーズを勘案し、ニーズの高い部分から順次対象を拡大していく方法がとられることとなり、最初に視覚特性が、ついで動作特性、聴覚特性について検討が進められている。視覚特性に関しては、既に計測項目、方法の検討、そしてこれらによる集団計測が終了し、H10年度よりデータ提供が開始される予定である。

構築が進められる身体機能データベースは、企業が製品や環境を提供する際の企画・設計・生産といった場面において身体機能のデータを提供することにより、適切な製品、環境の提供を支援することを目的としたものであり、特徴としては、①高齢者を中心とした身体機能のデータベースである、②商品・環境を提供する企業の設計者のためのデータベースという点が挙げられる。

第1項目については、データの取得対象は勿論高齢者の特性を中心とするが、データを活用するためには、若年者のデータをリファレンスとすることでデータの利用範囲が飛躍的に拡大するであろうこと、また高齢者に適した設計が必ずしも若年者にも適しているとは限らないことから、全年齢層にわたったデータ収集がなされる。収集規模は400～500名程度である。

計測項目、方法およびデータ提供方法については、特に第2項目を勘案して決定される。計測データを製品開発に応用するため、計測には生活者が商品や環境と関わる生活場面を想定した条件設定がなされる。またこれらの条件と身体機能の対応を求めたデータも取得される。視覚特性に関する計測項目を挙げると、①様々な環境、対象に関する視力、②色の弁別能力、③暗順応過程での見え、④グレア環境下での見えと、被験者の属性として⑤標準視力および⑥生活実態のアンケート調査結果である。データの提供に関しては、想定されるユーザが企業の商品や環境の設計者であるため、身体機能に関する知識レベルは初心者から専門家まで幅広く存在し、これらのユーザが適切にデータを利用できるよう工夫がなされる。インターネットを利用し、計測の目的、方法等を広く公開するとともに、生活行為と身体機能の対応を納めたデータベースを用い、ユーザが自らが必要とするデータが何であるか、データをどう利用すべきかといった判断ができるシステムを提供すること、さらに関連文献等へのアクセスを支援する等、データのみではなく、総合的な情報提供によりデータの適切な活用を促すものである。計測データ同様、上記データ利用支援のシステムについても平成10年度より公開が開始される予定である。

(江上真弘)

#### 4.5 学会における動向 ー学会参加報告

本委員会においては、高齢者の視覚に関わる研究が報告されている学会に参加するたびにその報告を行ってきた。そのうち本節では、視覚眼科学研究協会 (ARVO: Association for Research in Vision and Ophthalmology) と国際人間工学会 (IEA: International Ergonomics Association) の主催する国際会議の報告を紹介する。

##### 4.5.1 ARVO'97

ARVO は毎年5月に米国フロリダ州にて大会を開催している。扱われる領域は、眼科の領域から視覚認知まで多岐にわたり、97年は5468件の発表があった。このうち、加齢について関連のある話題はごく限られるが、ここではその内のいくつかを紹介する。

**(a) Age-related changes throughout the functional visual field (機能視野の加齢による変化)** 著者: A. C. Kooijman et al (University of Groningen) ランドルト環を用いて周辺視野における感度を特定の正答率が得られる提示時間の逆数で求めたところ、高齢者ほど周辺視野での感度低下が大きく、この影響は短時間提示ほど大きいことが報告された。これは高齢者での視覚情報処理時間の増加を意味している可能性がある。

**(b) The area of complete spatial summation enlarges with age (空間統合領域の加齢による拡大)** 著者: B. E. Scheffrin et al (University of Colorado) 桿体と神経節細胞の加齢に伴う減少が空間統合領域の拡大を引き起こしていることを、Ricco's area を求めることで確認した。今回の結果で Ricco's area が拡大したことは、光学的媒体の変質による理由だけでは説明できず、神経学的変化が関わっていることが十分に考えられる。

**(c) Simultaneous size discriminations for visual stimuli are selectively affected by aging (加齢による大きさ弁別への選択的な影響)** 著者: M. Sara and J. Faubert (Université de Montréal) 大きさ弁別課題では、同時提示の場合に加齢の影響を示すが、継時提示の場合には加齢による効果は示されない。これは、単に大脳両半球間の不十分な伝達によるものではないことを示した。

**(d) Age-related decline in positional acuity: Effects of eccentricity (位置視力の加齢による低下: 網膜偏心度の影響)** 著者: K. Latham and B. T. Barrett (Bradford University) 中心窩では位置視力への加齢の効果が認められるが、これは神経学的影響と考えられている。これに対し、周辺視野ではこの位置視力への加齢の効果が認められず、神経学的影響は少ないと考えられる。

**(e) Visual acuity underestimates impairment in the elderly (高齢者での視機能低下を過小評価する視力測定)** 著者: M. Schneck et al (The Smith-Kettlewell Eye Research Institute) 視機能評価は高コントラストの視力測定で行われるが、低コントラストや低輝度やグレア条件などでの視機能の評価するには不十分であることを示した。

**(f) Effects of stimulus duration and contrast on the useful field of view (有効視野に対する刺激提示時間とコントラストの効果)** 著者: A. B. Protzner et al (University of Toronto) 文字の同定や定位などの有効視野 (UFOV) タスクを、提示時間や刺激コントラストなどをパラメータとして行ったところ、高齢者の結果は若年者と低コントラストと一致したが、短時間提示によっては一致しなかった。

(氏家弘裕)

#### 4.5.2 ARVO'98

98 年は 5210 件の発表があった。加齢効果関連の研究発表について以下にまとめる。

**(a) Aging-related changes in dark adaptation in healthy eyes** (健常眼における暗順応の加齢による変化) 著者: G.R. Jackson and C. Owsley (University of Alabama at Birmingham)

若齢者(23)から高齢者(81)まで 99 人の暗順応カーブを測定(12 度 periphery, 500nm, 1.7 度 target)し, その時定数を算出. 年齢を横軸にとって, 暗順応曲線の 2nd, 3rd components における単位時間当たりの感度変化(dB/ min)を比較する. 第2コンポーネント (cone plateau からの暗順応: rhodopsin の再生) では若齢者の最高が 2.8 dB/ min であるのに対し, 最高齢者は 1.8 dB/ min であった. また第3コンポーネント(急激な暗順応から先の変化)は若齢者の最高が 0.8 dB/ min であるのに対し, 最高齢者では 0.3 dB/ min であった. さらに, 完全暗順応時の感度(scotopic sensitivity)も加齢による効果が見られ, その変化率は -0.69 dB/ decade であった.

**(b) Changes in the scotopic contrast sensitivity function across the life span** (暗所視コントラスト感度の生涯間変化) 著者: S.J. Tregear, B.E. Scheffrin, L.O. Harvey, Jr. and J.S. Werner (University of Colorado)

20 歳から 80 歳の男女 38 名について, 暗所視でのコントラスト感度関数(CSF)を測定した. 平均網膜照度は -0.85 scotopic Td, 空間周波数は 0.2 ~ 3.0 cpd のなかの 7 点について時間的 2AFC による測定を行った. その結果, 暗順応時の CSF は low pass 型で, 感度は若齢者での最大が 0.8 log unit, 高齢者は 0.6 log unit 程度であった. 統計的に有意な加齢による効果は 1.2 cpd 以下の低空間周波数域で見られ, コントラスト感度の低下率は 0.06 log units/ decade の低下を示した. (参考文献: Scheffrin et.al, JOSAA 1998, 340-348. ... Ricco's law の空間的加算領域が加齢とともに大きくなる.)

**(c) Age related changes in feature integration** (加齢による特徴統合の変化) 著者: K.Latham<sup>1</sup>, D.M. Levi<sup>2</sup> and M.D. Crossland<sup>1</sup> (1 Aston University, UK; 2 University of Houston, TX.)

平均年齢 24.7 歳(20~27 歳)の被験者 9 名と平均年齢 73.6 歳(67~77 歳)の被験者 9 名に対し, 最大 17 個のガボール・パッチによって構成された "E" を 90 度おきに回転して(上下左右)提示し, "E" の向きを応答させる. ガボール・パッチの配列によって作った "E" の文字を構成するガボールの中心のずれと判読性との関係を調べることにより, "feature integration(特徴統合)" の特性の加齢による変化を調べた. その結果, 最大数のガボールを用いた "E" については, ガボールのずれ量に対する判読性は高齢者・若齢者ともに大きく違わなかったが, ガボールの数を減らすと高齢者の成績が低下した. また, ガボールの SD を変化させた場合, 高齢者の方が若齢者よりも高い閾値を示した. 従って, 基本的なずれに対する耐性は若齢者も高齢者も変化がないが, 高齢者においてサンプル(ガボール・パッチ)間隔が開いたときの成績の悪化は feature integration のレベルでのアンダーサンプリングによると考えられる.

**(d) Aging effects on binocular neural summation: contrast sensitivity versus hyperacuity** (両眼情報の神経レベルでの加算における加齢効果: コントラスト感度と副尺視力) 著者: L.Lynk and D.W. Kline (University of Calgary, CA)

平均年齢 22.3 歳の 8 名と平均年齢 66.7 歳の二つのグループに対し, コントラス

ト感度と副尺視力(vernier acuity)を測定した。コントラスト感度については、両眼の感度と片眼の感度を比較すると、確率的足しあわせ以上の感度上昇を見せた。若齢者では 1.25, 2.5, 5.0, 10.0 and 22.5 cpd のすべての空間周波数で、高齢者では 10.0 cpd 以上でこのような効果が見られた。一方、副尺視力は、若齢者・高齢者ともに両眼・片眼の間で大きな変化はなく、そもそも両眼による情報の足しあわせを使っていない可能性がある(Banton and Levi, 1991)。

**(e) Aging and Spatial vision: One curve fits all (加齢と空間視力: 1つの式ですべて説明可!?)** 著者: G. Haegerstrom-Portnoy<sup>1,2</sup>, M.E. Schneck<sup>1</sup>, and J.A. Brabyn<sup>1</sup> (1 The Smith-Kettlewell Eye Research Institute; 2 U.C. Berkeley)

55~104歳の被験者 900名 (!) に対し、(1) high contrast: acuity, (2) low contrast: acuity, (3) low contrast, low luminance acuity, (4) low contrast acuity in glare の4種類の感度を測定した。高いコントラストでの視力は、グレア等が存在するときの低コントラストでの視力に比較して、加齢による低下が顕著ではないと言われている。いずれの感度データも加齢による低下が見られるが、落ち始めが年齢方向にシフトしているだけで、すべて一つの exponential カーブでフィットできた。時定数(performance が  $1/e$  になるのに要する時間)は約15年。

**(f) Does age influence inferior-superior or nasal-temporal asymmetry of differential light sensitivity? A campimetric study using bright and dark stimuli (加齢は上-下, 耳側-鼻側の差分光閾の非対称性に影響するか?)** 著者: N. Ata<sup>1</sup>, A. Sanger<sup>1</sup>, T.J. Dietrich<sup>1</sup>, B. Selig<sup>1</sup>, U. Schiefner<sup>1</sup>, N. Benda<sup>2</sup> (1 University of Eye Hospital Tubingen, Dept. II; 2 Dept of Medical Biometry, Tubingen)

背景輝度からの増分・減分の光フラッシュ(26)の検出閾値を中心視野付近 30度の範囲内で測定した。被験者は10歳から70歳までの各年代ごとに12名の被験者もちいた。下-上の感度差は10歳でもっとも小さく、増分では 0.28 dB, 減分では -0.07 dBであった。加齢に伴って差は増大し、増分では 0.14 dB/decade, 減分では 0.15 dB/decadeであった。視野の絶対感度は10歳の耳側視野がもっとも良かった。鼻側-耳側の感度差も10歳でもっとも小さく、増分では -0.33 dB, 減分では -0.40 dBであった。加齢に伴う差の変化は増分では 0.11 dB/decade, 減分では 0.13 dB/decadeであった。上下差, 鼻側耳側差のうち、上下差については緯度による差の加齢による増大の要因は網膜での神経細胞の減少にともなうものであると考えられているが、鼻側耳側差についてはまだ明らかにされていない。

(栗木一郎)

(千奈田謙)

#### 4.5.3 IEA'97 (国際人間工学会)

国際人間工学会は3年に1度大会を開催している。IEA '97(The 13th Triennial Congress of the International Ergonomics Association)は1997年6月29日から7月4日まで、フィンランド第2の都市タンペレにて行われた。"From Experience to Innovation"をテーマに22会場、259セッション(うち基調講演21、シンポジウム20)で口頭発表1178件、ポスター発表404件の合計1582件の発表が行われた。参加者は1742名(総計58カ国:国別ではフィンランド273、アメリカ131、日本116、イギリス81、ドイツ74など)であった。大会講演集は全7巻、4600ページに及び、総重量は8kgもあったため、会場内には講演集発送用の郵便窓口まで設けられていた。

高齢者関係のシンポジウムは「労働環境における加齢と人間工学」(9セッション)および「住環境における加齢と人間工学」(4セッション)に分けられていた。また、ポスターセッションと「高齢の労働者」をテーマにしたフリーセッションが各1セッション設けられていた。

筆者は「住環境における加齢と人間工学」のセッション2と3、そしてフリーセッションを聞いたが、全体的に高齢者のための環境整備に対する考え方を報告するものや現在行われている試みの報告、アンケートを用いた調査、主観評価を用いた実験が多いことが印象に残った。現段階では高齢者対策が比較的進んでいるという欧米においても高齢者の生理機能を測定し、そのデータをもとに環境設計を行うということはあまりなされていないものと思われる。

新しいテクノロジーを駆使したものとしては電話を利用した自動電話サービスの評価、痴呆の高齢者の看護のためにマルチメディアパソコンを利用するプロジェクト、インテリジェント交通システムが高齢者の車の運転にどのように貢献できるかといった報告があったが、いずれも高齢者の情報処理特性などを的確に把握した上で、なお改善していかなければならないという印象を受けた。また、「高齢者のためのもの」ではなく、「ユーザビリティの高いもの」を目指すという考え方、すなわちユニバーサルデザインの考え方を取り入れた報告も多く見られた。使う側の意見を随所に取り入れながら環境を整備していくことで使い勝手の良さ、安全性、そしてより魅力のある環境を作ることができるという考え方は一見当たり前のようと思われるが、これまではこのようなことが行われてこなかった。高齢化が進み、高齢者の意見を取り入れた環境整備の重要性がようやく指摘されるようになってきたというのが現状である。オランダには高齢者自ら定めたSenior Labelという高齢者のための住宅の統一規準があり、さらにこれを高齢者自身が検証しているという報告があったが、非常に説得力があるという印象を受けた。

視覚機能に関する発表は意外に少なく、わずかに3件であった。若齢者による水晶体の黄化のシミュレーション結果、高齢者による色判別の実験結果、さまざまな視角と色温度で提示される光源に対する高齢者の眩しさ、不快さの判定結果、視覚探索特性の比較などが報告されていた。

次回のIEAの大会は2000年にアメリカのサンディエゴで開催される。3年間のこの分野の研究の進展の具合に期待したい。

(福田亮子)

## 第5章 住宅所要照度と視覚特性の年齢効果に関する実験

近年、内外において高齢者の視覚特性に関する研究成果が多く発表され、それに基づいて高齢者のための視環境設計に関して明るさや色の見えなどの点から実務レベルでの研究も進みつつある。本章では、1998年度に「視覚特性の年齢効果に関する特別研究委員会」の中に設けられた実験分科会（主査：岩田三千子）において、住宅所要照度と視覚特性の年齢効果について実験を行った結果を報告する。

### 5.1 住宅所要照度の測定

高齢者の生活環境のなかで最も基本的な生活場面となる住宅の照明環境について、バリアフリー対応型実験住宅において、高齢者および青年を対象として視作業面での照度測定実験を行った。

#### 5.1.1 実験概要

##### 1) 被験者

64才～80才の高齢者10名（大阪府老人大学学生，男性5名，女性5名，平均年齢70.9才）と，21才～24才の青年10名（摂南大学工学部建築学科学生，男性10名，平均年齢22.5才）を被験者とした。被験者の性別，年齢，両眼視力（視距離1mランドルト環），視力矯正，白内障の自覚症状等についての詳細を表5-1に示す。

表5-1. 被験者リスト

	被験者番号	性別	年齢	両眼視力	近視がね	老眼	白内障の自覚症状
青 年	1	男	24	1.5	有り	無し	無し
	2	男	23	1.5	有り	無し	無し
	3	男	23	1.2	無し	無し	無し
	4	男	21	2.0	無し	無し	無し
	5	男	22	1.5	無し	無し	無し
	6	男	23	2.0	無し	無し	無し
	7	男	22	1.5	無し	無し	無し
	8	男	22	2.0	無し	無し	無し
	9	男	22	2.0	有り	無し	無し
	10	男	23	0.8	無し	無し	無し
高 齢 者	11	男	71	1.2	有り	有り	少し有り
	12	男	76	0.7	有り	有り	無し
	13	男	69	1.2	有り	有り	無し
	14	男	67	1.5	有り	有り	無し
	15	男	62	0.7	無し	有り	無し
	16	女	79	0.4	無し	有り	少し有り
	17	女	80	0.7	有り	有り	無し
	18	女	71	1.2	無し	有り	少し有り
	19	女	70	1.5	有り	有り	少し有り
	20	女	64	0.3	無し	有り	無し

## 2) 期間

1998年7月より実験用照明器具の作成と実験住宅の設置準備にとりかかり、1998年10月下旬～1999年1月中旬にかけて被験者実験を行った。

## 3) 実験場所

大阪市住吉区にあるバリアフリー対応型実験住宅ウエルフェアテクノハウス大阪を使用した。測定対象とした場所は、1階が玄関、トイレ、洗面所、浴室、食堂・台所、居間、2階が廊下、階段、寝室である。全ての開口部に昼光遮蔽装置を設置して外部からの光が入射しないよう配慮した。

## 4) 使用機器

室の全般照明としてシーリングライト（松下電工 HA8859KEP、丸型蛍光灯 38W・30W—色温度 3000K, 6700K）、安定器（松下電工 EX4011/24HKIEDH）、コントローラ（松下電工 NQ21560—321）を使用した。さらに、局部照明としてタスク照明器具（東芝ライテック F027230 コントローラ付き—色温度 3000K, 6700K）を使用した。ただし、全般照明については高齢者は 3000K のみ、青年は 3000K と 6700K の両方を測定し、局部照明については高齢者、青年ともに 3000K と 6700K の両方を測定した。

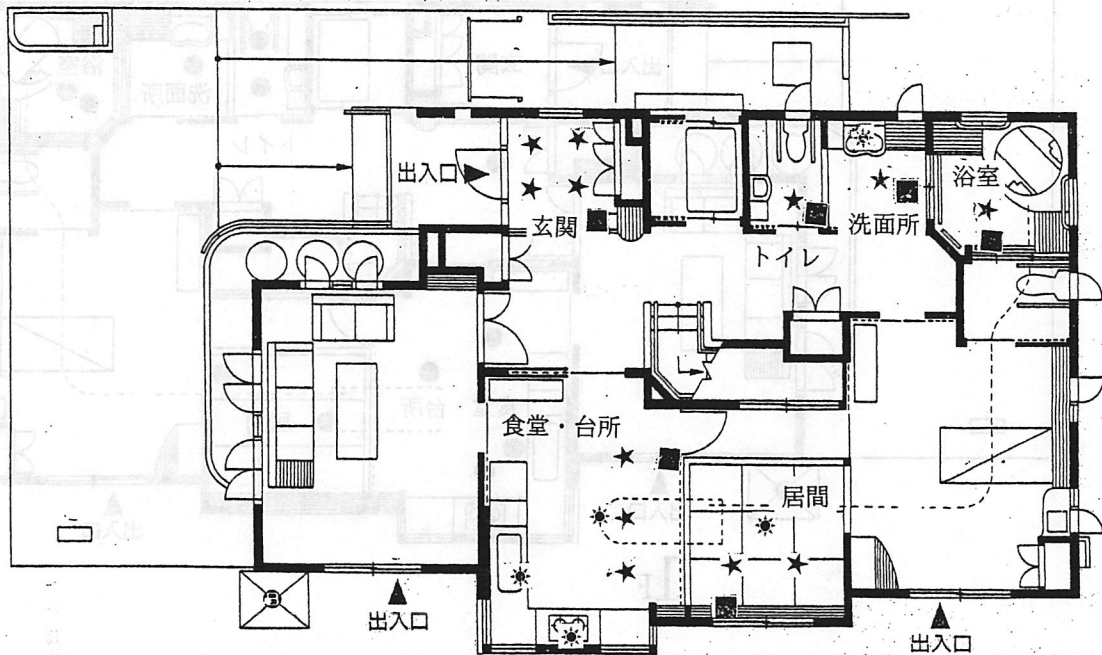
被験者や実験者の影に影響されない位置に照度計（トプコン IM-3）を設置しリファレンス照度として測定記録した。照明器具の設置位置と照度計の設置位置を図 5-1 に示す。

## 5) 実験方法

通常は明順応状態で継続的な視作業が行われること、および、過去の経験において、明順応した後と暗順応した後の所要照度の測定では、同程度の視認レベルを得るためには明順応後のほうが高い照度値を示すことから、全ての視作業において設計上の安全側を考慮して明順応後の測定を行うことを基本と考えた。加えて、夜間の帰宅時の玄関での視認状態や就寝後のトイレの使用、非常時の移動を考慮して、玄関および廊下では暗順応後の測定を行った。被験者の位置を図 5-2 に示す。

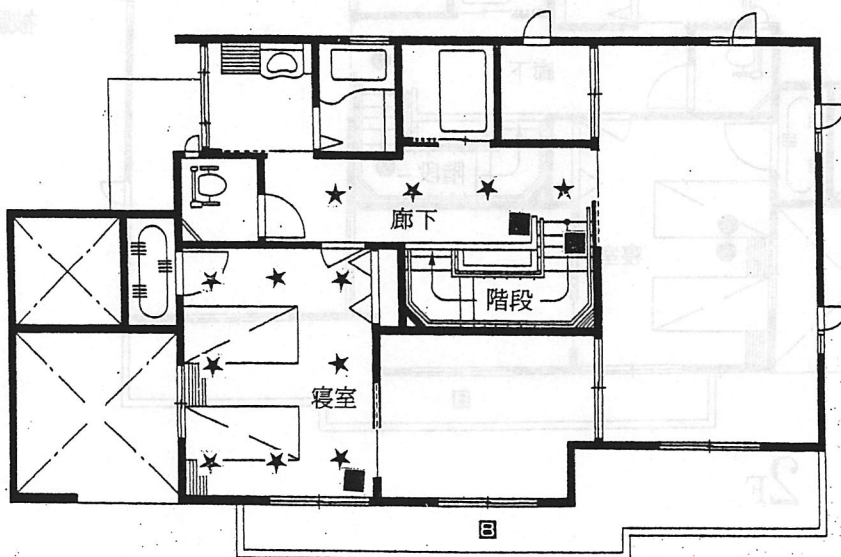
まず、明順応については全般照明用のシーリングライトを点灯した状態で、1 分間被験者に視作業面照度 800 lx の明るさに順応させた。その後、実験者が照明を明るい状態から徐々に暗くしていき、それぞれの視作業に対して「見やすいと感じる明るさ」（以下、快適照度と呼ぶ。）と、「これ以上暗くなると見えにくくなる明るさ」（以下、最低照度と呼ぶ。全般照明で測定。）を回答させた。順応は 1 回、以後の明るい状態から暗い状態への調光を 5 回繰り返し快適照度と最低照度の測定を行った。順応後の 5 回の測定に要する時間は一人 3 分以内とした。

玄関とトイレの暗順応後の視作業については、まず、真っ暗な洗面所内で 5 分間順応させてから測定場所に移動し、その後、真っ暗な状態から徐々に明るくしていき、それぞれの視作業に対して「見やすいと感じる明るさ」（快適照度）を回答させた。つぎに徐々に暗くしていき「これ以上暗くなると見えにくくなる明るさ」（最低照度）を回答させた。順応は最初の 1 回、以後の調光を 5 回繰り返し快適照度と最低照度の測定を行った。順応後の 5 回の測定に要する時間は一人 3 分以内とした。場所ごとの快適照度および最低照度を測定した視作業内容について表 5-2、表 5-3 に示す。



1F

- 照度計
- ★ 照明器具



2F

図5-1. 照明器具と照度計の設置位置

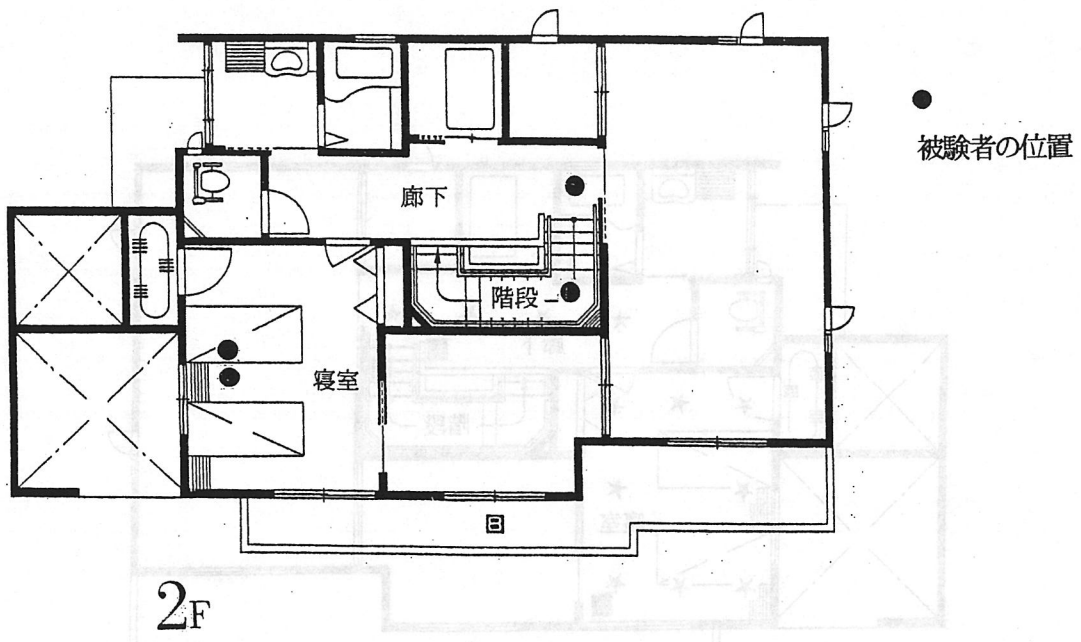
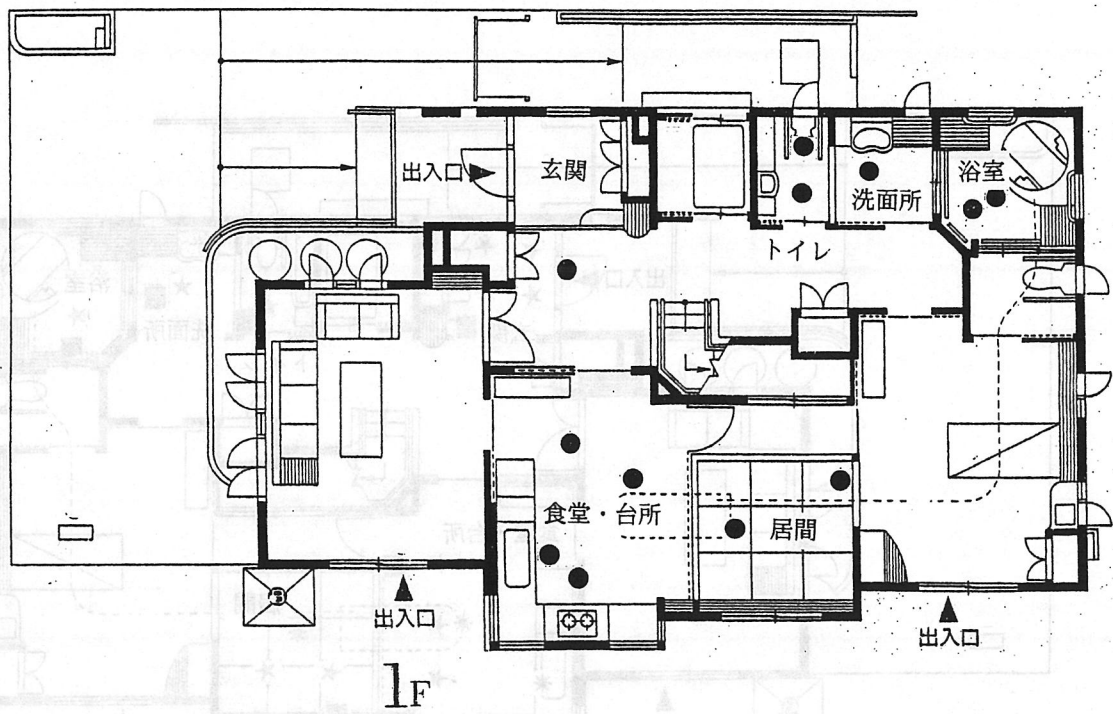


図5-2. 被験者の位置

表 5-2. 快適照度の測定対象視作業

	全般照明		局部照明		摘要
玄関	人の顔	段差			眼鏡有無          車いす使用
トイレ	操作盤	掃除	身繕い		
洗面所					
浴室	ボトル・カン	掃除			
食堂		掃除	食卓		
台所	足元収納		シンク	コンロ <sup>注</sup>	
居間	テレビ	掃除	新聞	人の顔 家計簿	
廊下	歩行	掃除			
階段	上り	下り			
寝室	就寝者		薬		

\* 網掛け部分は明順応後・暗順応後両方の場合の測定を行った

注 コンロは高齢者のみ測定を行った

表 5-3. 最低照度の測定対象視作業

	全般照明		局部照明		摘要
玄関	人の顔	段差			眼鏡有無          車いす使用
トイレ	操作盤	掃除			
洗面所					
浴室	ボトル・カン	掃除			
食堂		掃除			
台所	足元収納				
居間		掃除	人の顔		
廊下	歩行	掃除			
階段	上り	下り			
寝室	就寝者				

\* 網掛け部分は明順応後・暗順応後両方の場合の測定を行った

### 5.1.2 測定結果

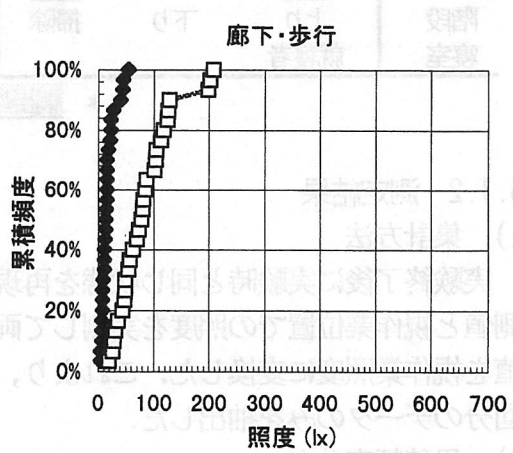
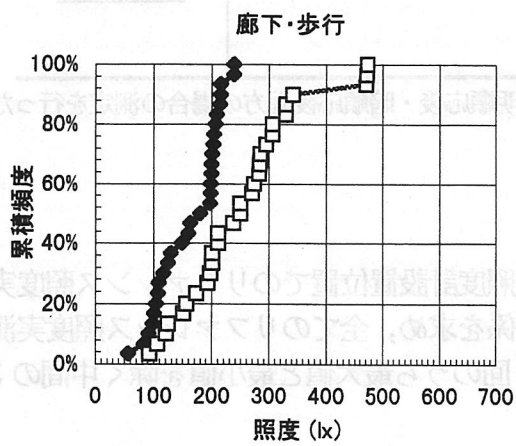
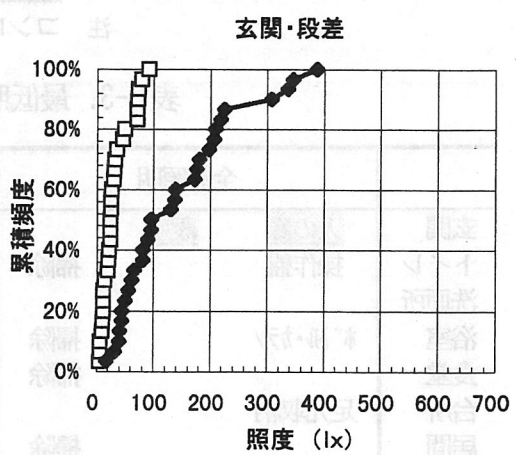
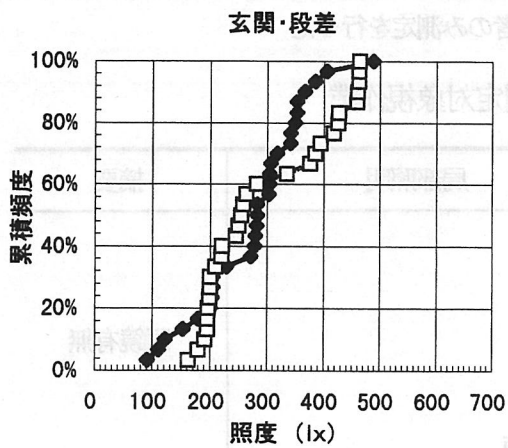
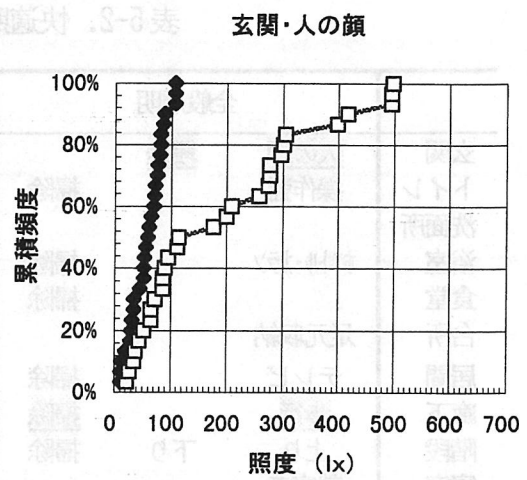
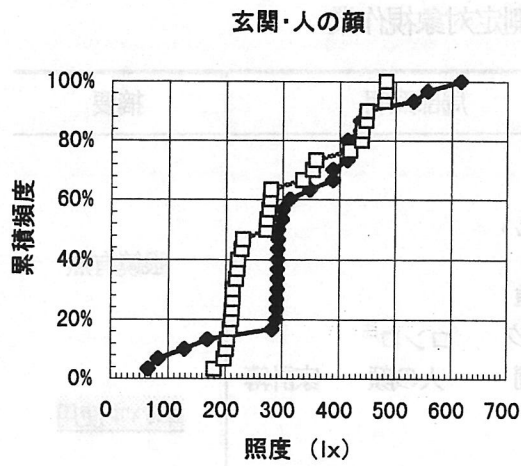
#### 1) 集計方法

実験終了後に実験時と同じ状態を再現して、照度計設置位置でのリファレンス照度実測値と視作業位置での照度を実測して両者の関係を求め、全てのリファレンス照度実測値を視作業照度に変換した。これより、一人5回のうち最大値と最小値を除く中間の3回分のデータのみを抽出した。

#### 2) 累積頻度分布

一人5回のうち最大値と最小値を除く3回分の快適照度および最低照度のデータから、視作業別に高齢者と青年の別に累積頻度分布を求めた。

その中から、一例として全般照明 3000Kのときの、玄関の「人の顔」と「段差」、および廊下の「歩行」についての快適照度の累積照度分布を図5-3、図5-4に示す。図5-3は明順応後、図5-4は暗順応後である。



● 高齢者    □ 青年

● 高齢者    □ 青年

図5-3. 明順応後の全般照明3000Kの  
快適照度累積頻度分布

図5-4. 暗順応後の全般照明3000Kの  
快適照度累積頻度分布

視作業ごとに明順応後と暗順応後の快適照度とを比較すると、従来から言われているようにいずれの視作業も高齢者、青年ともに明順応後が暗順応後よりも高い照度値を示していることがわかる。この傾向は、図示した以外の他の視作業においても同じ結果であった。

さらに図より、高齢者と青年との比較において高齢者が青年よりも明らかに高いのは暗順応後の玄関「段差」のみで、その他明順応後の玄関「人の顔」と「段差」がほぼ同じ、明順応後の廊下「歩行」、および暗順応後の玄関「人の顔」と廊下「歩行」は青年のほうが明らかに快適照度が高いといえる。

### 3) 快適照度の60%レンジ値

累積頻度分布より、高齢者、青年別に各視作業について全般照明および局部照明による快適照度の60%レンジ値を求めて、図5-5～図5-11に上限値と下限値の範囲を示す。

全般照明については、図5-5および図5-8より3000Kの時の高齢者と青年とを比較すると、概ね青年のほうが高齢者よりも高い値を示していることがわかる。さらに、図5-8および図5-11より青年の3000Kと6700Kとを比較すると、概ね3000Kのほうが6700Kよりも高い値を示していることがわかる。

局部照明については、図5-6、図5-7、図5-9、図5-10より高齢者と青年とを比較すると、3000K、6700Kの両方とも高齢者のほうが高いものは、比較的細かい視作業である居間「新聞」、居間「家計簿」、寝室「薬」および洗面所「身繕い」であった。逆に、青年のほうが明らかに高いものは台所・食堂の「食べ物」であった。

### 3) 最低照度の60%レンジ値

累積頻度分布より、高齢者、青年別に各視作業について全般照明による最低照度の60%レンジ値を求めて、図5-12～図5-14に上限値と下限値の範囲を示す。

高齢者と青年の比較では、3000Kの時の高齢者と青年とを比較すると図5-12、図5-13より、概ね高齢者のほうが青年よりも高い値を示していることが分かる。

さらに、図5-13および図5-14より青年の3000Kと6700Kとを比較すると、概ね「掃除」については3000Kのほうが6700Kよりも高い値を示していることがわかる。

なお、本研究で使用した照明器具等については松下電工(株)、松下電器産業(株)および東芝ライテック(株)より提供を受けた。また、測定を行ったモデル住宅については、NEDO所管のウェルフェアテクノハウス大阪のご協力をいただいた。被験者謝金については大阪ウェルフェアテクノハウス研究会(幹事:土井正)の研究費を充当した。

(岩田三千子)

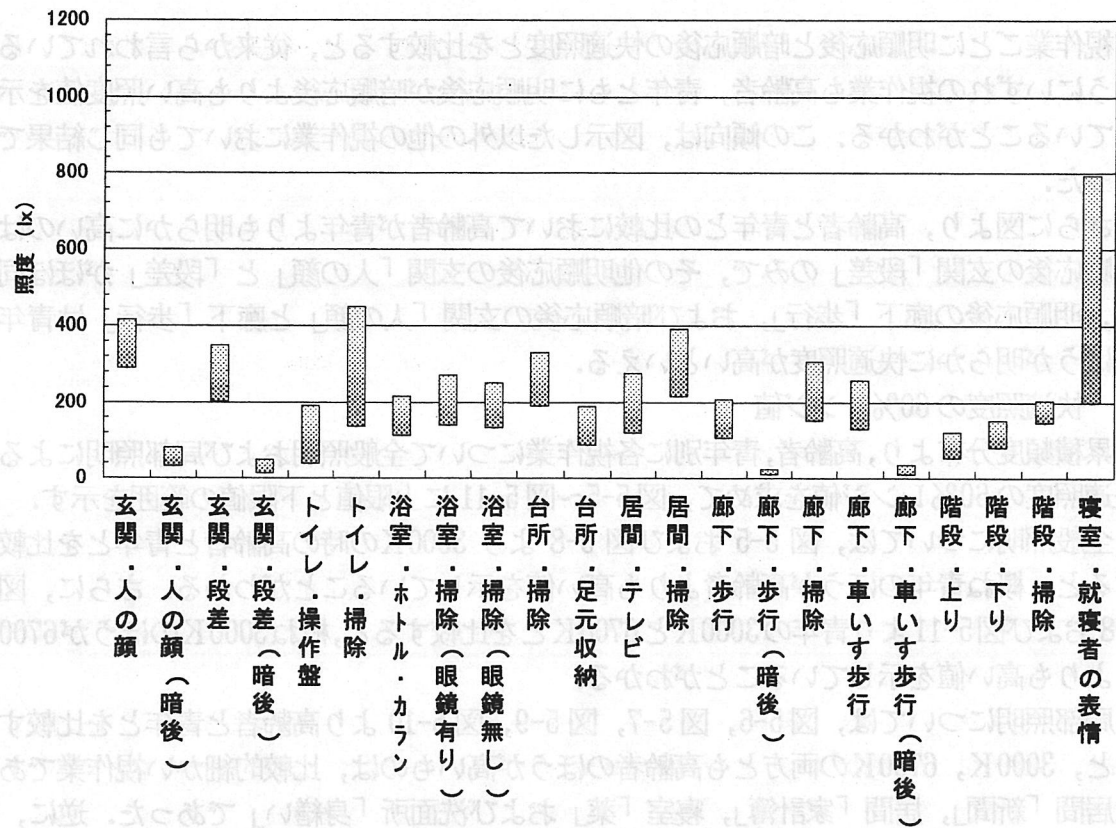


図5-5. 高齢者の全般照明3000Kの快適照度60%レンジ値

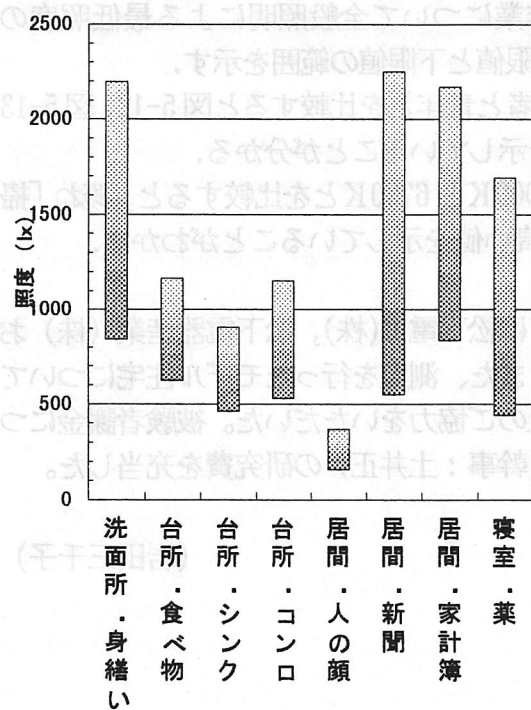


図5-6. 高齢者の局部照明3000Kの快適照度60%レンジ値

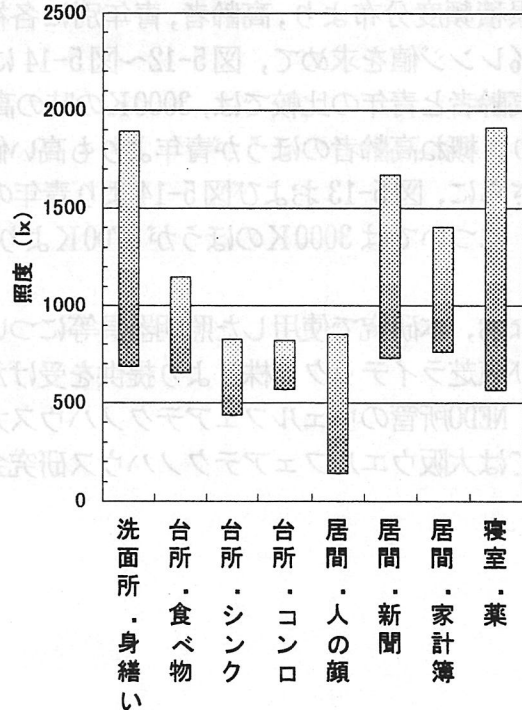


図5-7. 高齢者の局部照明6700Kの快適照度60%レンジ値

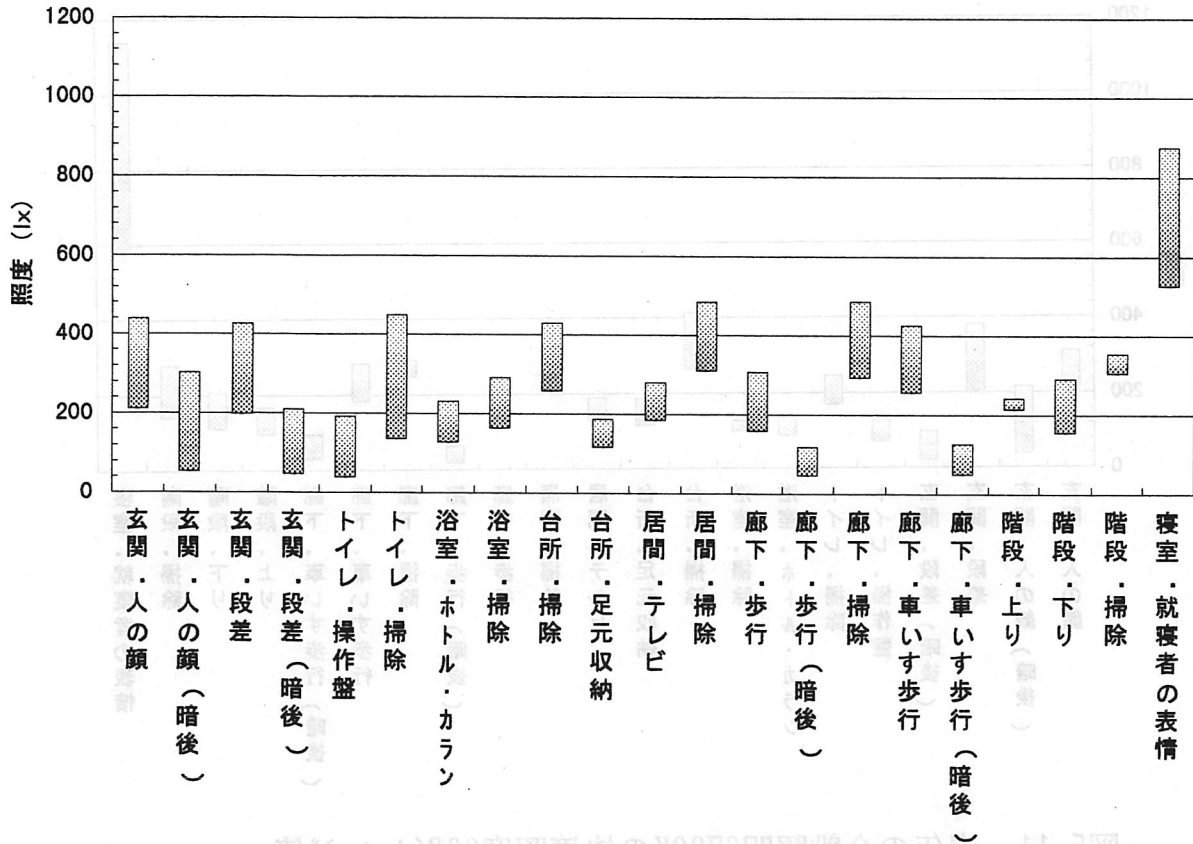


図5-8. 青年の全般照明3000Kの快適照度60%レンジ値

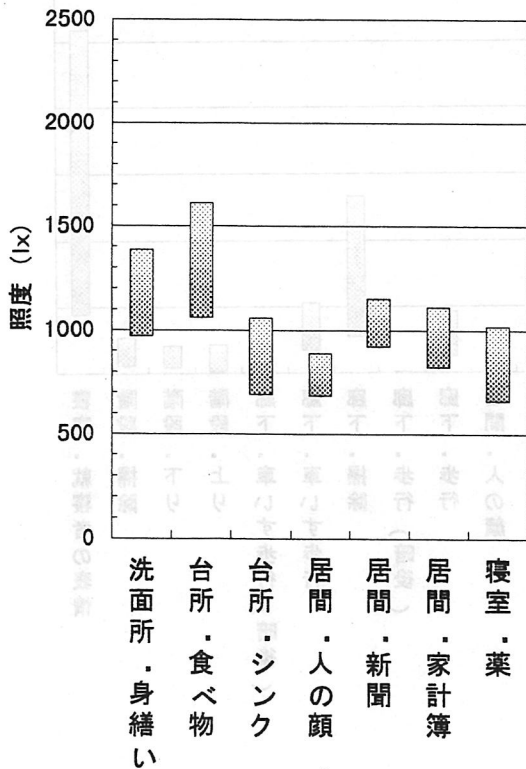


図5-9. 青年の局部照明3000Kの快適照度60%レンジ値

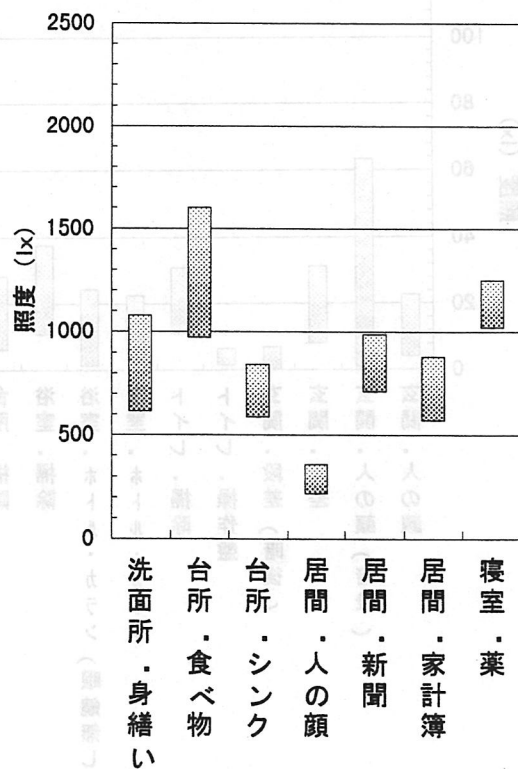


図5-10. 青年の局部照明6700Kの快適照度60%レンジ値

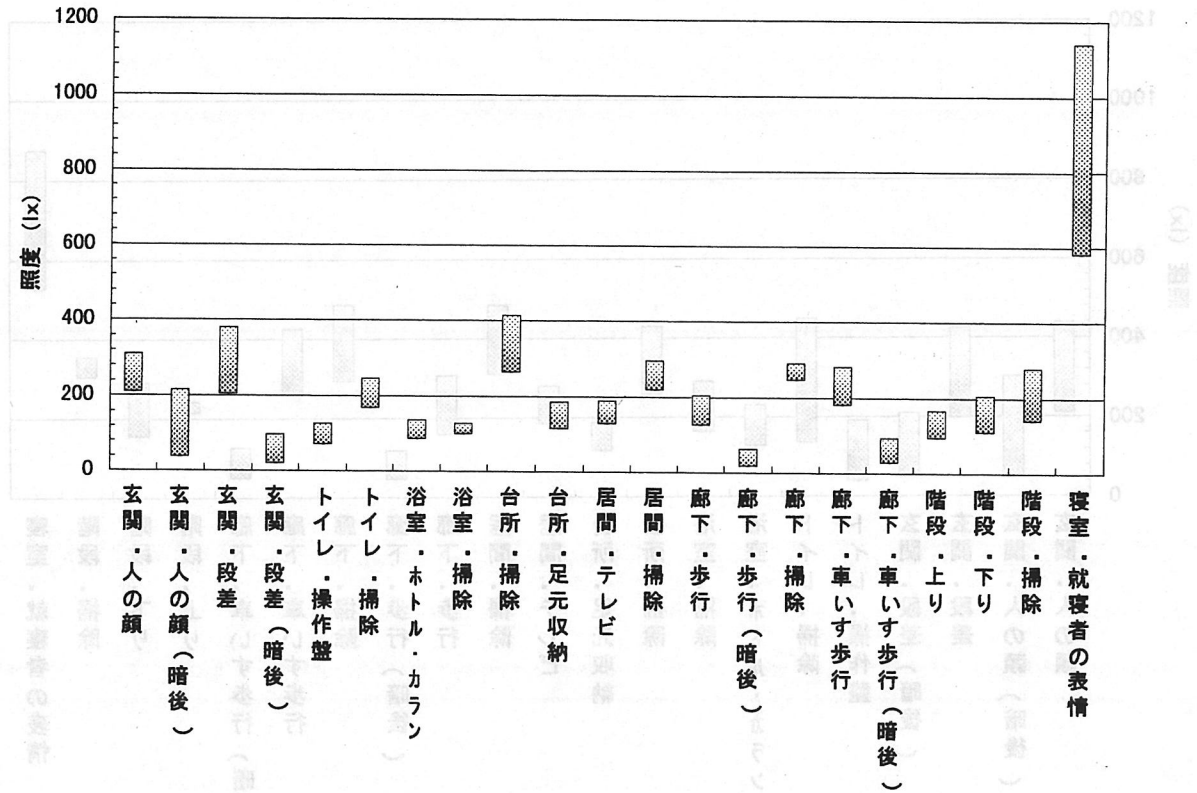


図5-11. 青年の全般照明6700Kの快適照度60%レンジ値

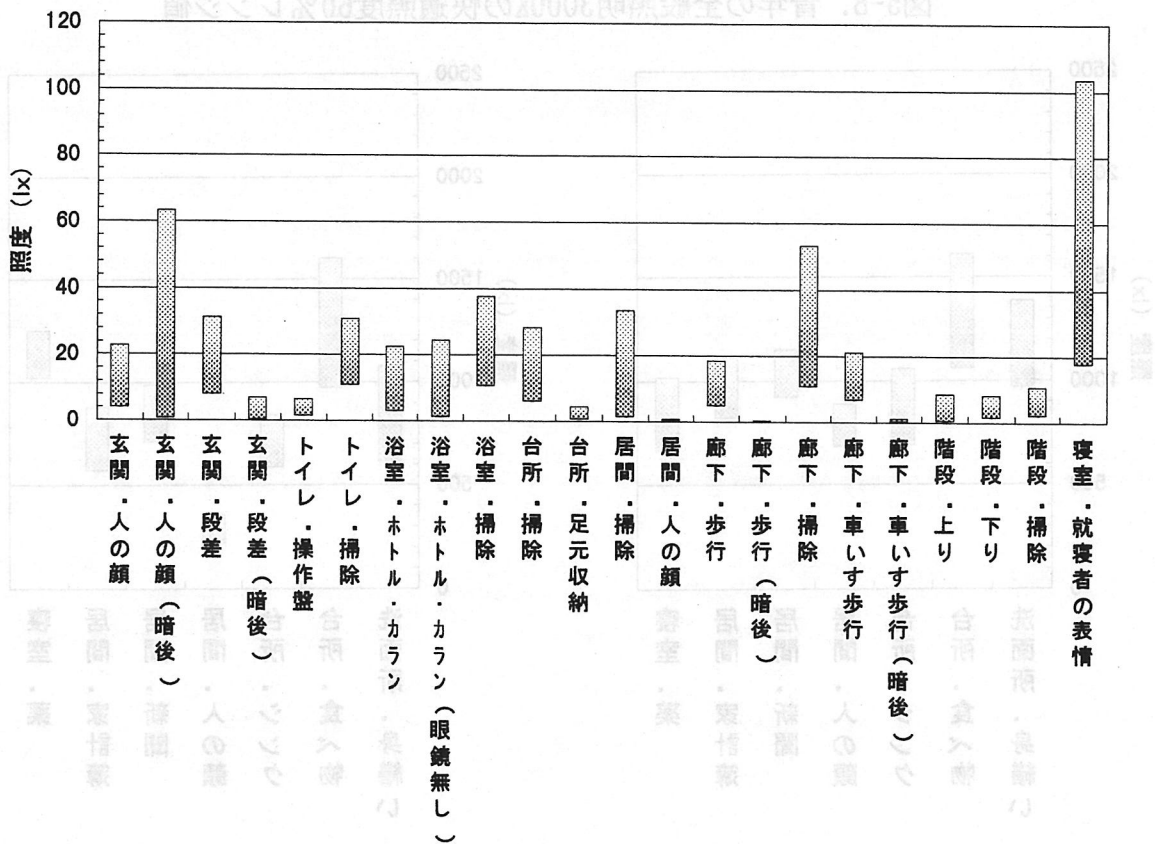


図5-12. 高齢者の全般照明3000Kの最低照度60%レンジ値

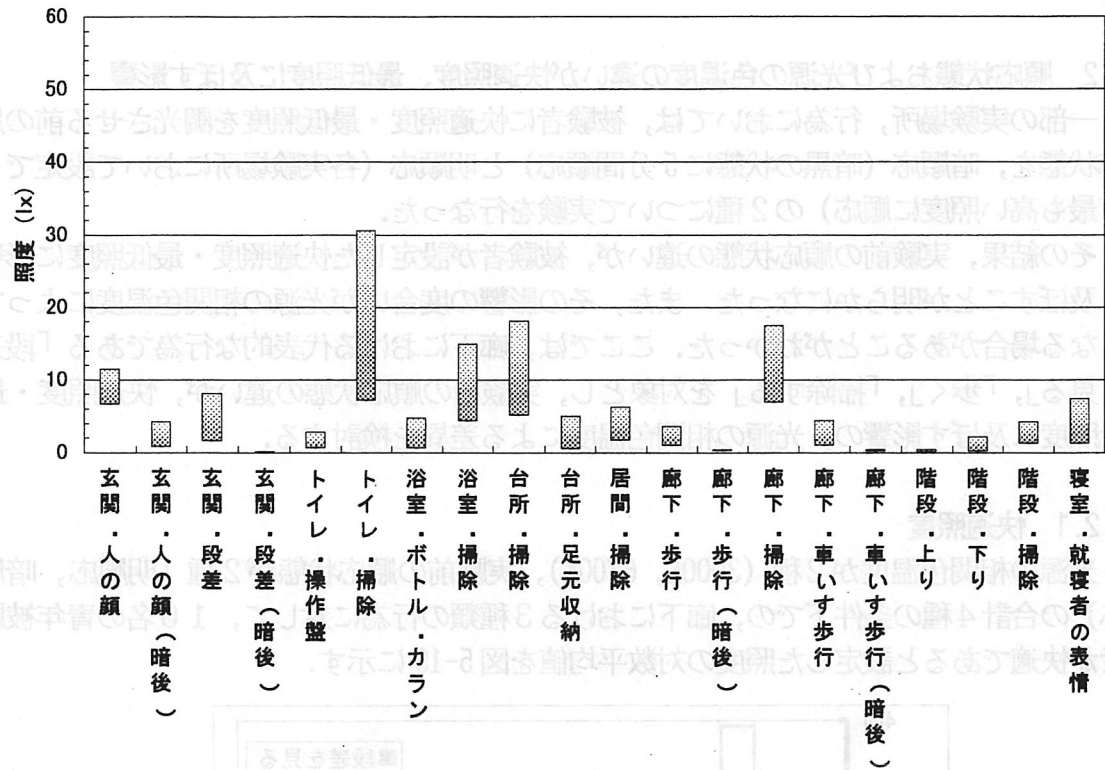


図5-13. 青年の全般照明3000Kの最低照度60%レンジ値

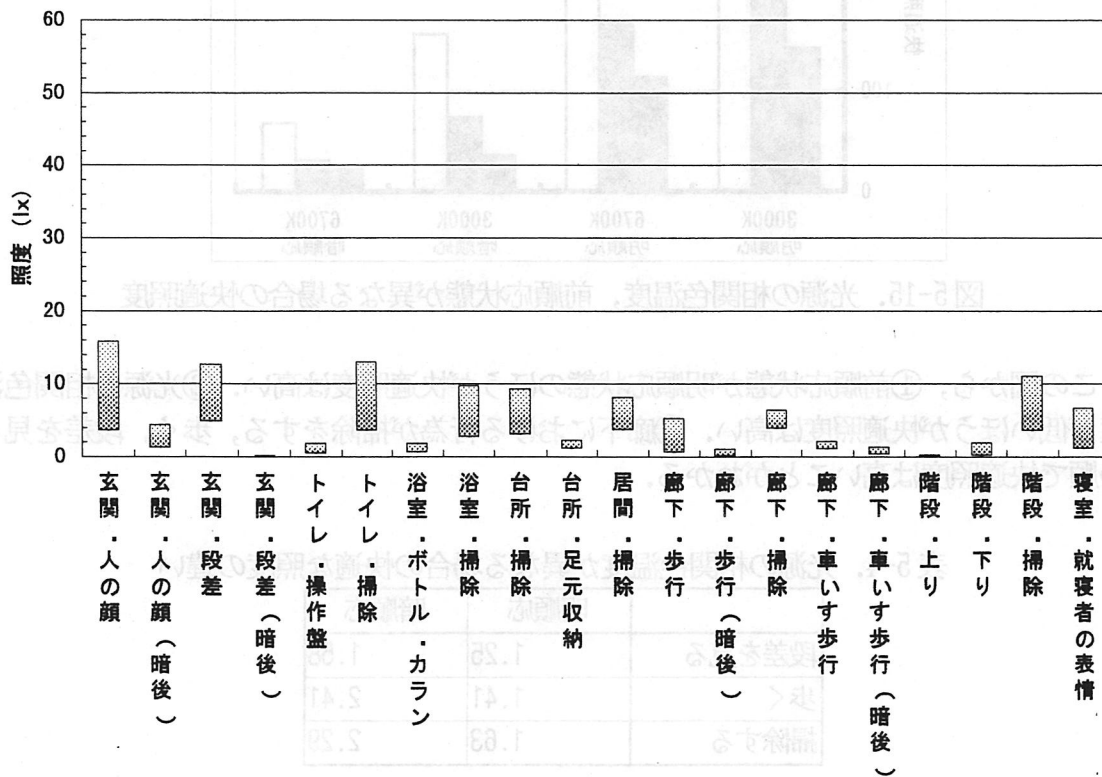


図5-14. 青年の全般照明6700Kの最低照度60%レンジ値

## 5.2 順応状態および光源の色温度の違いが快適照度、最低照度に及ぼす影響

一部の実験場所、行為においては、被験者に快適照度・最低照度を調光させる前の順応状態を、暗順応（暗黒の状態に5分間順応）と明順応（各実験場所において設定できる最も高い照度に順応）の2種について実験を行なった。

その結果、実験前の順応状態の違いが、被験者が設定した快適照度・最低照度に影響を及ぼすことが明らかになった。また、その影響の度合いが光源の相関色温度によって異なる場合があることがわかった。ここでは、廊下における代表的な行為である「段差を見る」、「歩く」、「掃除する」を対象とし、実験前の順応状態の違いが、快適照度・最低照度に及ぼす影響の、光源の相関色温度による差異を検討する。

### 5.2.1 快適照度

光源の相関色温度が2種（3000K、6700K）、実験前の順応状態が2種（明順応、暗順応）の合計4種の条件下での、廊下における3種類の行為に対して、10名の青年被験者が快適であると設定した照度の対数平均値を図5-15に示す。

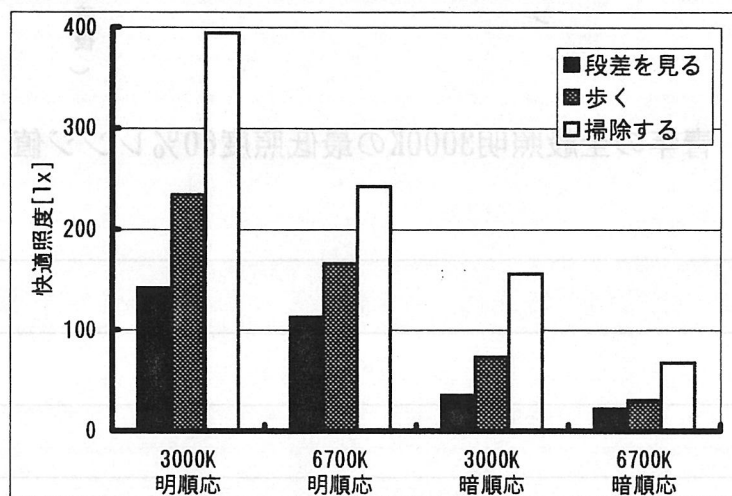


図5-15. 光源の相関色温度、前順応状態が異なる場合の快適照度

この図から、①前順応状態が明順応状態のほうが快適照度は高い。②光源の相関色温度が低いほうが快適照度は高い。③廊下における行為が掃除をする、歩く、段差を見るの順で快適照度は高いことがわかる。

表5-4. 光源の相関色温度が異なる場合の快適な照度の違い

	明順応	暗順応
段差を見る	1.25	1.58
歩く	1.41	2.41
掃除する	1.63	2.29

ここで、光源の相関色温度が 3000K の場合と 6700K の場合の快適な照度を比較する。表 5-4 は光源の相関色温度が 3000K の場合の快適照度の、光源の相関色温度が 6700K の場合の快適照度に対する比を示している。この表から、実験前に暗順応していたときのほうが明順応していたときより、色温度の違いによる快適照度の違いがより顕著に生じていることがわかる。

人間は暗順応している暗所視状態では桿体によって物を見ており、明順応している明所視状態では錐体によって物を見ている。また、この中間の薄明視状態では桿体、錐体の両方によって物を見ている。錐体と桿体では分光感度が異なり、それらの分光感度は  $V(\lambda)$ 、 $V'(\lambda)$  で表わされる。桿体は錐体と比べて短波長の光に対する感度が高く、桿体のみが働く暗所視状態では、明所視輝度が等しくても、短波長の成分が多い光は短波長の成分が少ない光よりも明るく感じる。すなわち、短波長成分が多い光は短波長の成分が少ない光と比べて暗所色度が高い。

本実験に使用した光源は相関色温度が 3000K と 6700K の 3 波長域発光形蛍光ランプであるが、それらの分光分布を比較すると相関色温度が 6700K の光源のほうが短波長成分が多く、暗所色度が高いことがわかった。詳細な計算の結果、暗所視輝度を等しくするためには、相関色温度が 3000K の光源の明所視輝度を 1.72 倍しなければならないことが明らかになった。

したがって、本実験の結果の、暗順応下における快適照度の光源の相関色温度による差は、相関色温度が 3000K の光源の下での快適照度が 6700K の光源の下での快適照度の 1.72 倍以内であれば、被験者が照度設定中に徐々に明順応していたとしても、分光感度が  $V'(\lambda)$  から  $V(\lambda)$  へ移行している最中であると考えれば説明がつく。すなわち、廊下において「段差を見る」という行為に対しては、薄明視状態で快適な照度を設定したため、相関色温度が 3000K の光源では、6700K の光源の 1.58 倍の照度が必要であったと考えられる。

このように、「段差を見る」という行為に対する快適な照度は、段差部分の輝度の差を識別することを前提とした、快適な照度であると考えられる。したがって、被験者にとって、設定時の順応状態における段差部分の輝度差がほぼ等しくなる照度に設定したと考えられる。しかし、「歩く」、「掃除する」という行為に関しては、「段差を見る」ほど、視覚的にどこかの輝度差を弁別する必要はない。このような場合、周囲の明るさの印象が快適となるような照度に設定したと考えると自然である。色温度が異なる光源を用いた場合、色温度が高いほど周囲の明るさの印象は高いと考えられることから、明るさの印象が同じになるように、相関色温度が 3000K の光源のもとでは 6700K の光源のものと 2 倍以上の照度に設定されたと考える。

### 5.2.2 最低照度

光源の相関色温度が 2 種 (3000K, 6700K)、実験前の順応状態が 2 種 (明順応, 暗順応) の合計 4 種の条件下での、廊下における 3 種類の行為に対して、10 名の青年被験者が最低限必要であると設定した照度の対数平均値を図 5-16 に示す。

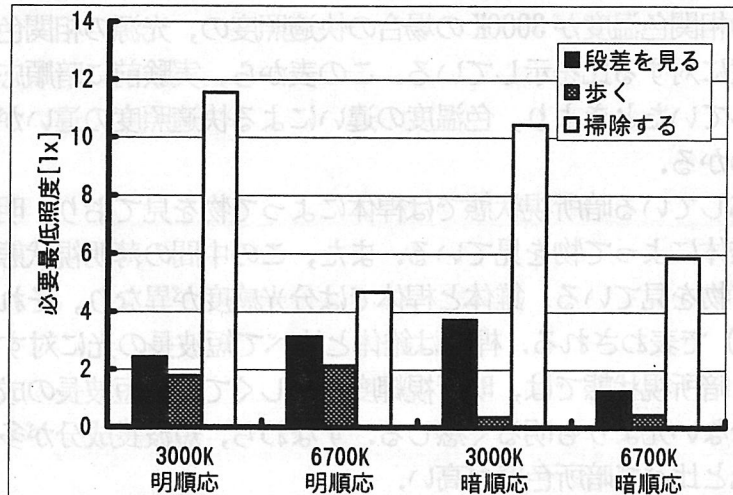


図5-16. 光源の相関色温度，前順応状態が異なる場合の最低照度

この図から、①前順応状態が明順応状態のほうが快適照度は高い。②廊下における行為が掃除をする，段差を見る，歩くの順で最低照度が高い傾向がうかがえる。しかし，この実験においては被験者による結果のばらつきが大きく，分散分析の結果，光源の相関色温度により有意な差があるのは，明順応時の「掃除する」(1%)と暗順応時の「段差を見る」(5%)のみであった。したがって，最低照度に関しては，光源の相関色温度により差があるとは言い難い。

(向健二)

### 5.3 照明の色温度によるコントラスト感度の測定

3種の色温度の蛍光灯照明下において、視覚特性の年齢効果について、高齢者と青年を被験者として空間周波数ごとに視認可能な最小の輝度対比を求める実験を行った。この輝度対比の逆数をコントラスト感度として求めた。

#### 5.3.1 実験概要

##### 1) 被験者

70才～81才の高齢者15名（寝屋川市シルバー人材センター登録者，男性14名，女性1名，平均年齢73.1才）と，21才～24才の青年15名（摂南大学工学部建築学科学学生，男性12名，女性3名，平均年齢22.7才）を被験者とした。被験者の性別，年齢，視力矯正，白内障の有無等についての詳細を表5-5に示す。

表5-5. 被験者リスト

	被験者番号	性別	年齢	乱視	色覚異常	視力矯正	白内障
青年	1	男	24	無し	無し	近視	無し
	2	男	23	有り	無し	近視	無し
	3	男	23	無し	無し	無し	無し
	4	男	22	有り	無し	近視	無し
	5	男	21	有り	無し	近視	無し
	6	男	22	有り	無し	近視	無し
	7	男	22	無し	無し	無し	無し
	8	男	22	有り	無し	近視	無し
	9	男	23	無し	無し	近視	無し
	10	男	23	無し	無し	無し	無し
	11	男	23	有り	無し	無し	無し
	12	男	24	有り	無し	無し	無し
	13	女	23	無し	無し	近視	無し
	14	女	23	有り	無し	近視	無し
	15	女	23	無し	無し	無し	無し
高齢者	16	男	70	有り	無し	老眼	無し
	17	男	70	無し	無し	老眼	無し
	18	男	70	無し	無し	老眼	無し
	19	男	76	無し	無し	老眼	無し
	20	男	78	無し	無し	老眼	無し
	21	男	75	無し	無し	老眼	無し
	22	男	73	無し	無し	老眼	無し
	23	男	72	無し	無し	老眼	無し
	24	男	81	有り	無し	老眼	無し
	25	男	74	無し	無し	近視	無し
	26	男	72	有り	無し	無し	無し
	27	男	71	無し	無し	無し	無し
	28	男	72	無し	無し	無し	無し
	29	男	73	無し	無し	無し	無し
	30	女	70	無し	無し	無し	無し

## 2) 期間

1998年12月上旬～1999年1月下旬。

## 3) 実験場所

摂南大学工学部建築学科環境工学実験室（暗室）。

## 4) 実験装置

視距離1mの正面壁に視標を順次提示することができる実験装置（図5-17参照）を使用した。装置内部には、開口部の左右両側に調光機能を持つ直管型20W蛍光灯用照明器具が装備してあり、ここに三波長型の3000K（ナショナルパルックFLR20S・EX-L/M）、5000K・6700K（東芝メロウ5FLR20S・EX-N/M-H、5FLR20S・EX-D/M-H）のランプを取り付けた。被験者の目には光源からの光が直接入射しないように遮蔽板が設けられている。内壁面はN5の灰色つや消しペイント塗装仕上げである。

## 5) 視標

視距離1m用のMTF視力検査視標を5種類の空間周波数について16種類の輝度対比で計80枚作成した。空間周波数および輝度対比を表5-6に示す。

表5-6. 検査視標の空間周波数と輝度対比

周波数 (cpd)	1.3	2.6	5.2	10.3	20.6			
輝度対比	0.450	0.320	0.230	0.160	0.110	0.080	0.057	0.040
	0.028	0.020	0.014	0.010	0.007	0.005	0.0035	0.0025

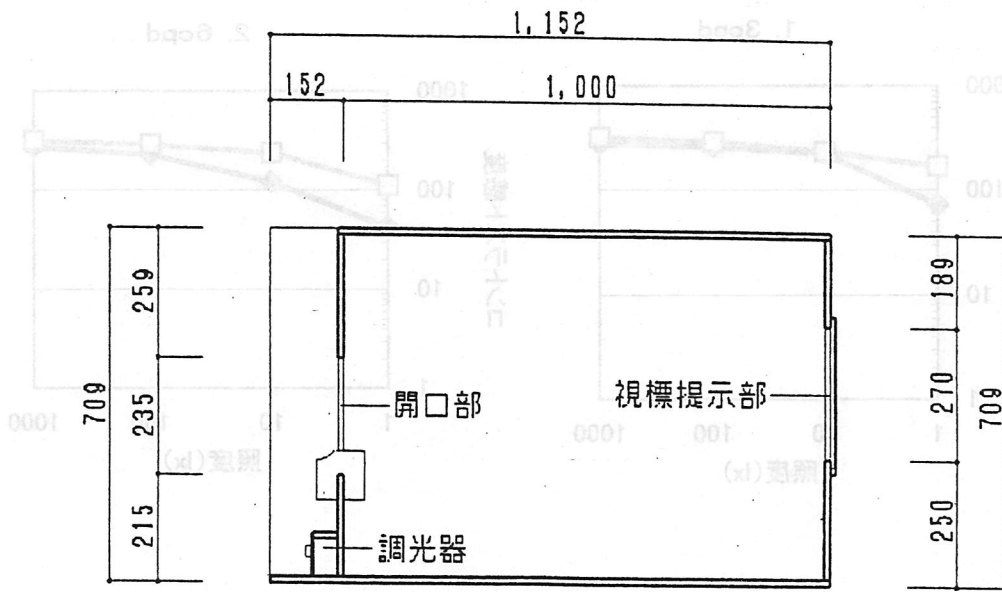
## 6) 実験方法

実験装置内の照明の色温度は3000K、5000K、6000Kの3種類、視標面照度は1lx、10lx、100lx、1000lxの4段階とした。実験は一人あたり2日間で、1日目に3000Kと5000K、2日目に6700Kを行った。順応状態の著しい変動を避けるために、最も低い照度の1lxから実験を始めた。まず、被験者に1lxの明るさで5分間順応させた後、周波数の低いものから順に、かつ輝度対比の大きいものから順に提示して、視標の縞模様の縦、横、斜めの3種類の向きを回答させた。1lxでの実験の後、順に10lx、100lx、1000lxと高い照度での実験をそれぞれ順応時間5分から繰り返し、視標の縞模様の縦、横、斜めの3種類の向きを回答させた。そのうち2つ以上正解が得られたものの最小の輝度対比の逆数をとって周波数ごとのコントラスト感度として得た。

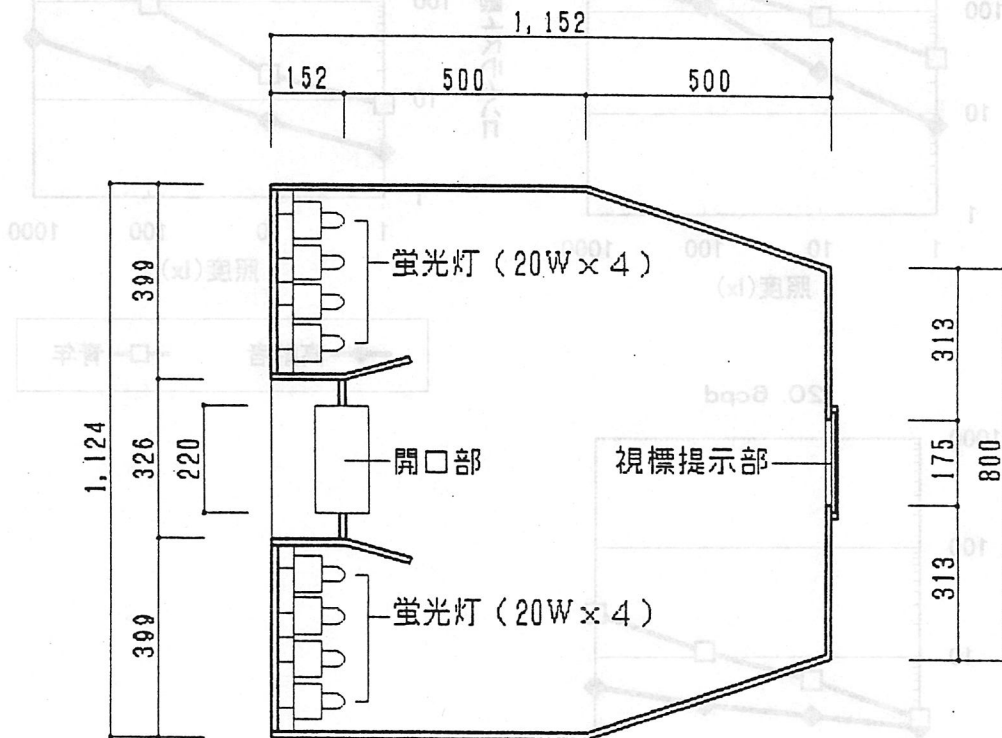
### 5.3.2 測定結果

3000K、5000K、6700Kの照明の色温度別に、高齢者および青年の空間周波数別照度別にコントラスト感度の平均値を求めた。その際、視認できなかったものについては除外した。図5-18～図5-20に照明の色温度別に高齢者および青年の空間周波数別の照度とコントラスト感度との関係を示す。

全体を通して、いずれの周波数でも照度が上昇することによって高齢者、青年ともに



断面図



平面図

図 5-17. 実験装置

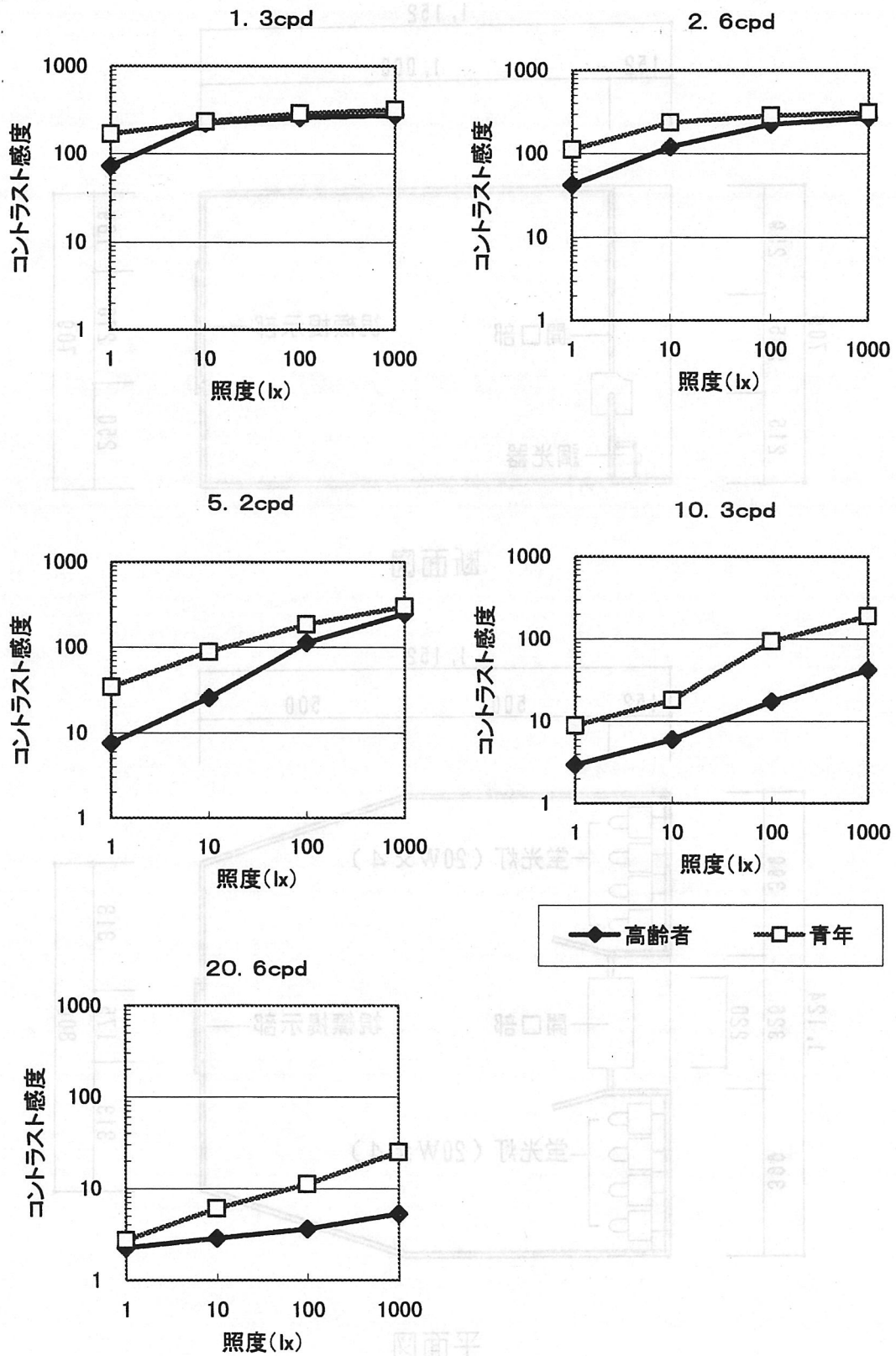


図5-18. 3000Kのときの照度とコントラスト感度の関係

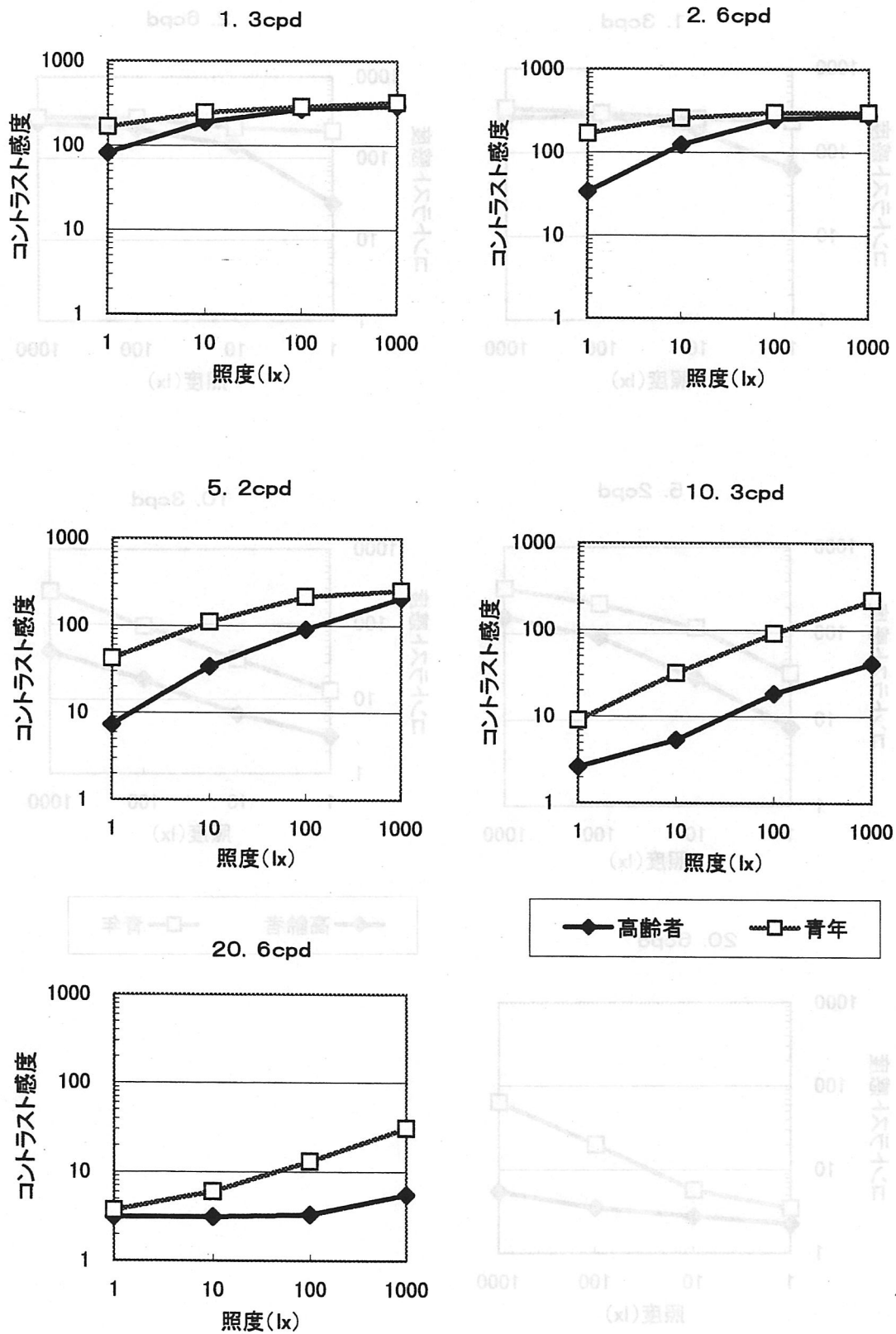


図5-19. 5000Kのときの照度とコントラスト感度の関係

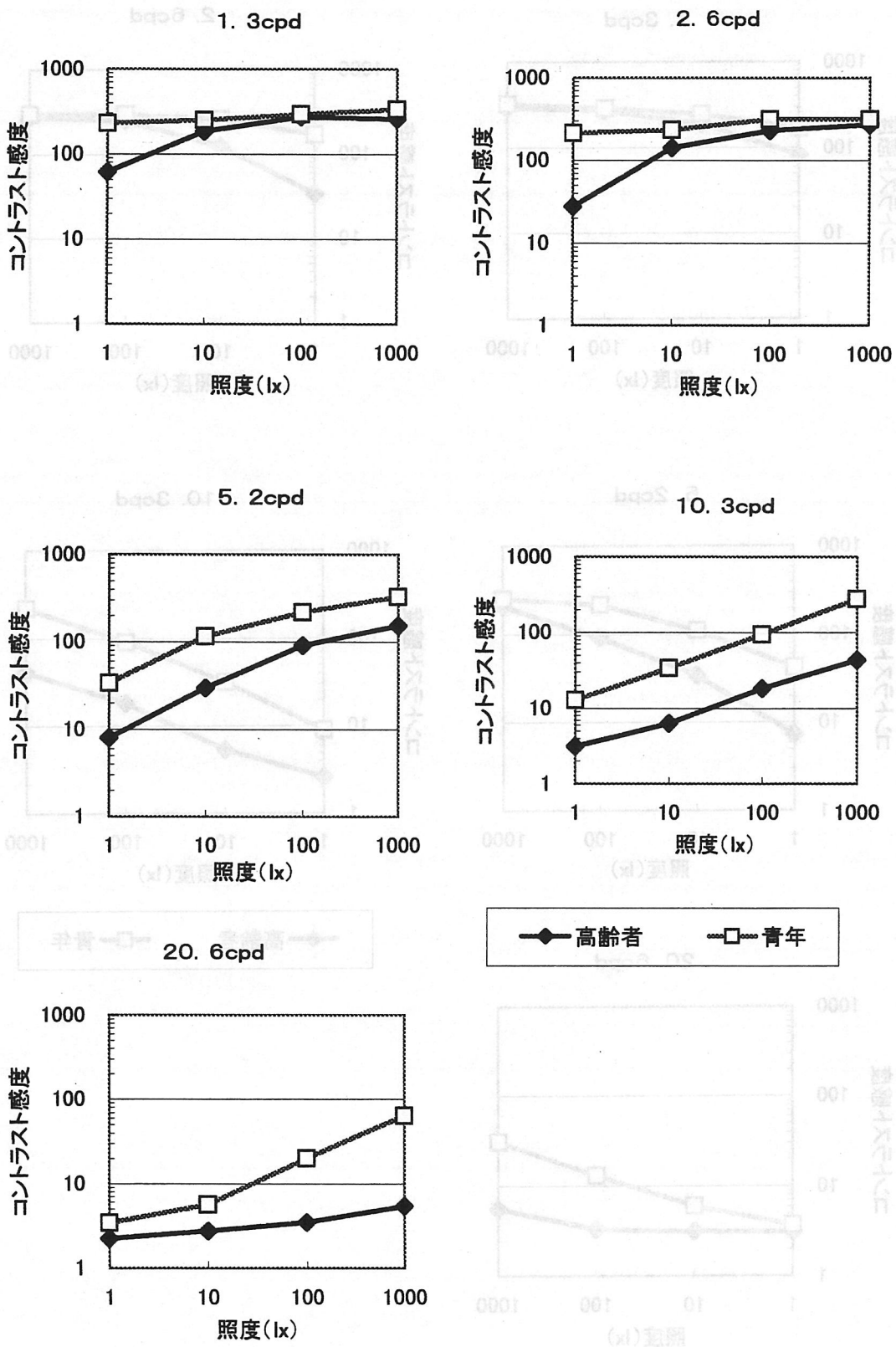


図5-20. 6700Kのときの照度とコントラスト感度の関係

コントラスト感度が上昇し、また、周波数が低いほどコントラスト感度が高くなることが明らかである。照明の色温度別にはコントラスト感度に特に差が認められなかったが、色温度 6700K の高照度 100lx, 1000lx のときに、青年のコントラスト感度が 20.6cpd の高い周波数のもとで上昇傾向が認められた。

つぎに、高齢者と青年との比較については、いずれの場合も高齢者は青年よりもコントラスト感度が低く、周波数が低い時には低照度ほどその差が大きくなるといえ、逆に周波数が大きい時には高照度ほどその差が大きくなるといえる。これについて、高齢者のコントラスト感度と青年のコントラスト感度との比を求めた結果を図5-21に示す。

いずれの色温度の照明下でも周波数が低いほど照度の上昇に伴ってその比が大きくなり、比の最大値は 1.3cpd では 0.96, 20.6cpd では 0.91, 5.2cpd では 0.83 である。しかし、周波数が高い 10.3cpd と 20.6cpd では、前述の低い三者の周波数とは逆に照度の上昇に伴ってその比が小さくなる。これらの比の最大値は 10.3cpd では 0.34, 20.6cpd では 0.85 である。

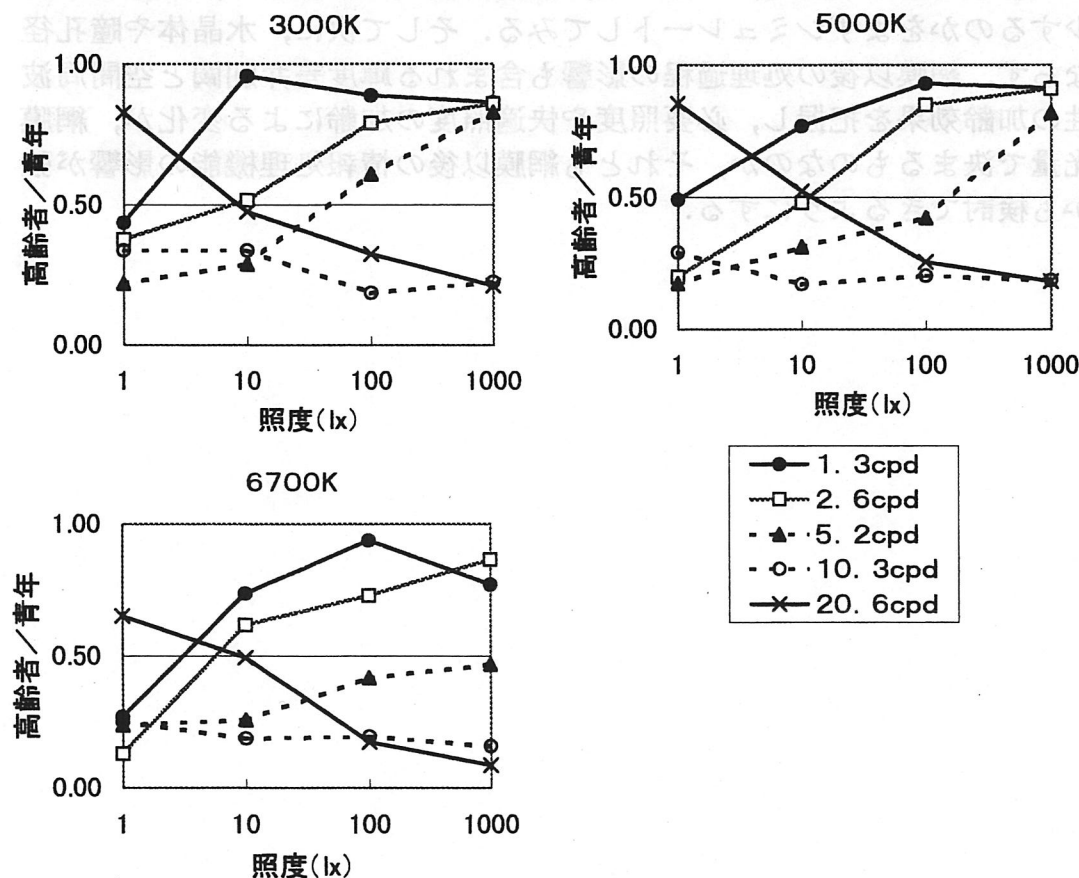


図5-21. コントラスト感度の高齢者の青年に対する比

なお、本実験で使用したコントラスト感度測定のための視標は岡嶋委員長、氏家委員両氏の作成による。また、被験者の謝礼、交通費等は摂南大学工学部建築学科 1998 年度予算から支払った。

(岩田三千子)

## 第6章 視覚特性の年齢効果を考慮した住宅における適正照度の検討

前章では、実際の住居内を用いて、平均 22 才の若年者と平均 70 才の高齢者に対し、最低限必要と感じる照度（以下、必要照度）と快適と感じる照度（快適照度）を住宅内の各行為別に求めた実験結果を報告した。本章では、これら実験により明らかとなった必要照度と快適照度の加齢に伴う変化を、視覚特性の加齢効果から説明できるのかどうかを検討する。

### 6.1 視覚特性の加齢効果シミュレーション

今回の検討で対象としたのは、網膜照度、輝度差弁別閾、空間周波数特性 (MTF) の 3 種類の視覚特性である。加齢に伴い機能低下が著しいとされている水晶体の透過率の低下と瞳孔径の縮小により、視覚情報の情報処理の入口である網膜に達する光量、すなわち、網膜照度が加齢により、実際どの程度減少するのかをまずシミュレートしてみる。そして次に、水晶体や瞳孔径のみならず、網膜以後の処理過程の影響も含まれる輝度差弁別閾と空間周波数特性の加齢効果を把握し、必要照度や快適照度の加齢による変化が、網膜前の光量で決まるものなのか、それとも網膜以後の情報処理機能の影響が強いのかも検討できるようにする。

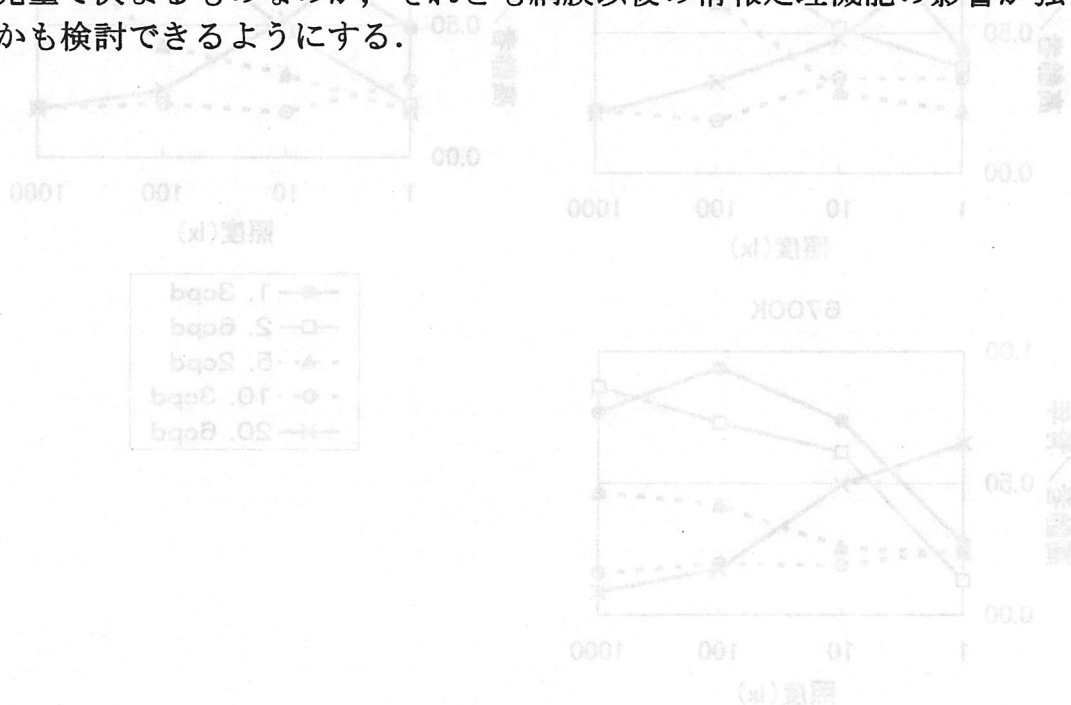


図 6-21 年齢による視覚特性の変化 (単位: lx)

本書は、照明学会編『照明工学』の改訂版として、照明学会から出版された。本書は、照明工学の分野で、照明の設計、施工、管理、研究、教育、普及に役立つ内容となっている。照明学会は、照明の分野で、照明の設計、施工、管理、研究、教育、普及に役立つ内容となっている。

(千九百九十八年)

### 6.1.1 水晶体と瞳孔の年齢変化から導出した高齢者の網膜到達照度

高齢者の照明を考える場合、網膜上にどの程度の光量が実際に到達しているか（その光量をここでは「網膜到達照度」と定義する）を数値的に検討すれば、若年者と高齢者の必要照度の違いがその網膜到達照度によって説明できるか否かを定量的に調べることができる。また、若年者と高齢者で網膜照度を同じにした上でそれぞれの必要照度や視覚特性を比較すれば、他の加齢効果の影響だけを取り出すことができると考えられる。したがって、同じ網膜到達照度を与える外界の照度を「等価照度」と定義すれば、様々な年齢間及び照度レベルで若年者と高齢者の等価照度を相互に簡単な式を使って換算できると便利である。しかし、現在のところ、そのような換算式は提案されていない。

等価照度を求めるためには、水晶体の透過率変化だけではなく、瞳孔径の加齢変化も考慮する必要がある<sup>1)</sup>。特に老人性縮瞳の影響が顕著となる低照度レベルにおいて、瞳孔径の変化は無視できない<sup>2)</sup>。そこで、水晶体と瞳孔径の年齢変化を考慮した網膜到達照度を与える方程式を出発点とし、若年者と高齢者間の等価照度を簡単に計算できる換算式を導出する。

今、外界の照度を  $E$  (lx)、水晶体の視感透過率を  $T$ 、瞳孔面積を  $S$  (mm<sup>2</sup>) とすると、網膜到達照度は  $S \cdot T \cdot E$  に比例する。水晶体の視感透過率  $T$  は年齢とともに減少するが、照度  $E$  には依存しない。一方、瞳孔面積  $S$  は、照度レベルによって変化し、その特性は年齢によっても異なる。したがって、年齢  $A$  歳の水晶体の視感透過率は  $T(A)$ 、瞳孔面積は  $S(A, E)$  という関数で表すことができる。今、若年者（年齢  $A$ ）と高齢者（年齢  $A'$ ）の網膜到達照度が同じになる照度、すなわち等価照度をそれぞれ  $E$ 、 $E'$  とすると、

$$S(A', E') \cdot T(A') \cdot E' = S(A, E) \cdot T(A) \cdot E \quad \dots (6-1)$$

という方程式が成立する。(1)式をここでは「網膜到達照度方程式」と呼ぶことにする。これから、年齢  $A$  の若年者の照度  $E$  と等価な年齢  $A'$  の高齢者の照度  $E'$  を求める換算式、

$$\begin{aligned} E' &= \frac{S(A, E) \cdot T(A)}{S(A', E') \cdot T(A')} \cdot E \quad \dots (6-2) \\ &= \frac{S(A, E)}{S(A', E')} \cdot \tau(A, A') \cdot E \end{aligned}$$

が得られる。 $\tau(A, A') \equiv T(A) / T(A')$  が水晶体の加齢効果、 $S(A, E) / S(A', E')$  が瞳孔径の加齢効果を表す項である。また、水晶体の加齢効果は照明光の分光分布（色温度）で異なるため、関数  $\tau(A, A')$  は各照明光毎にそれぞれ与える必要がある。水晶体光学濃度の年齢変化は、Pokorny らの Two-factor モデルで与えた<sup>3)</sup>。一方、瞳孔径は照度のみで決定され、色温度には影響されないと仮定する。瞳孔径の加齢変化を定式化するために、幅広い年齢層の白人 91 人の被験者で照度レベルを変えて瞳孔径を測定した Winn らのデータを用いた<sup>4)</sup>。

(6-2)式は、 $E'$  をパラメータとする  $S(A', E')$  が右辺に含まれている陰関数の形

を有している。これは、E に対する等価輝度 E' を求める際に、瞳孔面積 S(A', E') そのものが E' によって変化することによる。一般に、このような関数形を持つ式から E' を計算するためには、A, A', E を与えた後に何らかの繰り返し計算やテーブル参照等を用いなければならないが、これでは手軽に照明設計やシミュレーションを行えず、不便である。そこで、今回は途中の式変形や回帰の方法を工夫した結果、次のような式を導出することができた。

$$\text{D65 照明} : E' = \left[ \left( \frac{113.13 - 0.400A}{149.23 - A'} \right) \left( \frac{112.73 - A}{112.73 - A'} \right) E^{0.7613 + 0.001A} \right]^{\frac{1}{0.7613 + 0.001A'}}$$

$$\text{A 照明} : E' = \left[ \left( \frac{130.89 - 0.383A}{167.68 - A'} \right) \left( \frac{112.73 - A}{112.73 - A'} \right) E^{0.7613 + 0.001A} \right]^{\frac{1}{0.7613 + 0.001A'}}$$

… (6-3)

若年者の年齢 A, 高齢者の年齢 A', そして若年者の照度 E を与えれば、この(6-3)式から高齢者の等価輝度 E', すなわち網膜到達照度を同じにする外界の照度 E' が計算できる。さらに比 E'/E を求め、これは等価照度の倍率を表す。また、逆に(3)式から E' から E を求められることも可能である。(6-3)式は、今回の定式化に用いた加齢モデル及び実験データの有効レンジから、

$$20 \leq A \leq 60$$

$$60 \leq A' \leq 80 \quad \dots (6-4)$$

$$2 \leq E, E' \leq 1050$$

の範囲でのみ有効な式であることを注意する必要がある。

導出した(6-3)式を使って、任意の年齢の若年者と高齢者間の等価照度を計算することができる。D65 照明と A 照明で数値に大きな違いはないため、以後は両者の平均値で表すことにする。図 6-1 は、22 歳の若年者の照度 E (横軸) に対する各高年齢(60, 70, 80 歳)の等価照度 E' (縦軸) を(10)式から求め、プロットしたものである。低い照度の時に、高齢者の等価照度、すなわち網膜到達照度が若年者と同じになる外界の照度は、若年者に比べて大きな照度倍率を必要とすることを示している。図 6-2 は縦軸を等価照度の倍率 E'/E で図 6-1 をリプロットしたもので、例えば 70 歳では E=10 (1x) で約 2.9 倍、E=100 (1x) で約 2.6 倍、E=400 (1x) で約 2.4 倍の照度倍率となることが分かる。

今回得られた等価照度換算式を用いることで、若年者と高齢者の網膜到達照度が等しくなる時の外界の照度を求めることが可能になった。したがって、例えば若年者と高齢者で照明評価実験を行なった場合、必要照度あるいは最適照度等の結果の相違が、網膜到達照度で説明できるか否かが判定できる。若年者の照度の実験結果を E とした場合、それに対応する高齢者の等価照度を換算式から求めると E' になったとする。実験で得られた高齢者の照度 E'' と若年者の照度の比(照度倍率) E''/E が予測値 E'/E に等しい場合、網膜到達照度で高齢者と若年者の照度比を数値的に説明できると考えることができる。また、E''/E > E'/E

の場合は、水晶体と瞳孔の加齢効果以外の加齢効果（例えば網膜や神経系）が関与していることを意味する。逆に、 $E''/E > E'/E$  の場合は、グレア等による高照度制限の影響があるか、あるいは神経系における何らかの補償作用が寄与している可能性が示唆される。

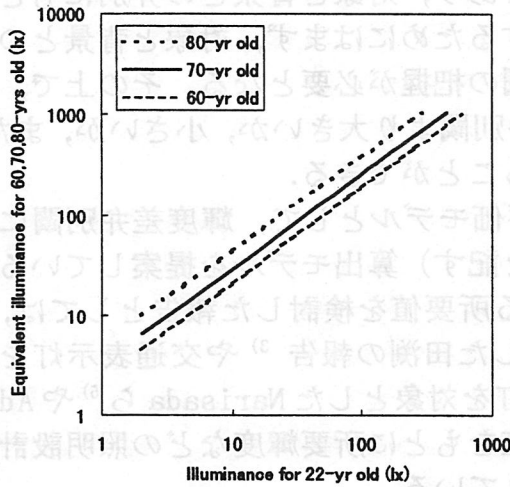


図6—1

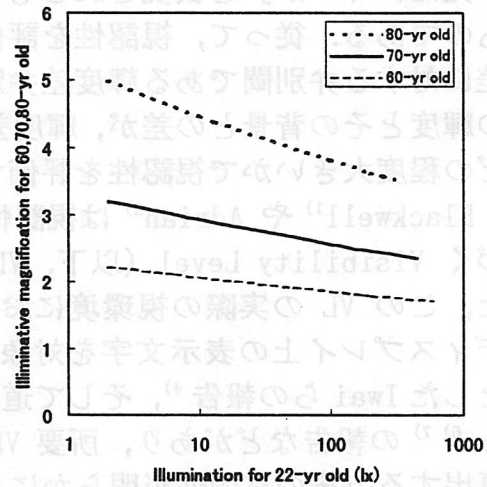


図6—2

視覚特性の年齢効果を調べる実験を行なう際、被験者の年齢に合わせて網膜到達照度が等しくなるように外界の照度を設定しておけば、実験結果の相違は網膜到達照度以外の影響であると考えることができる。すなわち、網膜到達照度とそれ以外の加齢効果の影響を分離して検討することが可能となる。これにより、例えば年齢による色の見えや視力の違いが、どの程度網膜到達照度で説明できるかを定量的に分析できるだけでなく、神経系の加齢効果の影響を心理物理学的に調べることも可能になると期待される。逆に言えば、高齢者の視覚特性を調べる際には、外界の照度を同じにしても、若年者に対して網膜到達照度が実質半分以下になってしまうことを意味しており、実験計画の際に気をつける必要がある。（岡嶋克典）

#### 参考文献

- (1) 沖坂重邦：「虹彩の加齢変化」，眼科，28，pp.595-603（1986）。
- (2) 長谷川，石川：「正常対光反応の加齢による変化」，日眼会誌，93，pp.955-961（1989）。
- (3) J. Pokorny, V. C. Smith and M. Lutze: "Aging of the Human Lens", Applied Optics, 26, pp.1437-1440（1987）。
- (4) B. Winn, D. Whitaker, D. B. Elliott and N. J. Phillips: "Factors Affecting Light-Adapted Pupil Size in Normal Human Subjects" Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 35, pp.1132-1137（1994）。

### 6.1.2 輝度差弁別閾の加齢効果

前章で述べてきた実験では、様々な視作業の行為を対象として評価実験を行ってきた。各視作業のやりやすさは、対象とする視対象の視認性に依存する。ここで述べる視認性とは、「見えるか見えないか」、または「見えやすいか見えにくい」と表現されるものであり、対象と背景との弁別にもとづくものである。従って、視認性を評価するためにはまず、対象と背景との輝度差に対する弁別閾である輝度差弁別閾の把握が必要となる。その上で、対象の輝度とその背景との差が、輝度差弁別閾より大きいか、小さいか、または、どの程度大きいかで視認性を評価することができる。

Blackwell<sup>1)</sup> や Adrian<sup>2)</sup> は視認性評価モデルとして、輝度差弁別閾にもとづく Visibility Level (以下、VL と記す) 算出モデルを提案している。また、この VL の実際の視環境における所要値を検討した報告としては、CRT ディスプレイ上の表示文字を対象とした田淵の報告<sup>3)</sup> や交通表示灯を対象とした Iwai らの報告<sup>4)</sup>、そして道路灯を対象とした Narisada ら<sup>5)</sup> や Adrian ら<sup>6) 7)</sup> の報告などがあり、所要 VL 値をもとに所要輝度などの照明設計値を算出する方法の有効性が明らかにされている。

この VL は、下記式に示すように、対象の輝度  $L_t$  ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) と背景の輝度  $L_b$  ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) との輝度差が、輝度差弁別閾  $\Delta L_{\text{min}}$  の何倍の差を有しているのかを表わしたものである。

$$VL = |L_t - L_b| / \Delta L_{\text{min}} \dots\dots\dots (6-5)$$

そして、この VL が必要な値になるように照明設計を行えば良いと言うのが、VL にもとづく照明設計法の考え方である。

他に提案されている視認性の評価方法としては、「文字の読みやすさ」を対象とした佐藤ら<sup>8)</sup> や中根<sup>9)</sup> の提案する見やすさレベル (Visual Ease Level: VEL) を挙げることができる。佐藤らは、視対象の大きさ  $a$  が閾の大きさ  $\alpha_{\text{min}}$  に対して持つ大きさの倍率 ( $VEL = a / \alpha_{\text{min}}$ ) を用い、そして、中根は視認閾を与える背景輝度 ( $L_{b\text{min}}$ ) に対する実際の背景輝度 ( $L_b$ ) が持つ倍率 ( $VEL = L_b / L_{b\text{min}}$ ) を用いて、「文字の読みやすさ」を規定する方法をそれぞれ提案している。

以上述べてきた VL にもとづく方法と VEL にもとづく方法、いずれの方法においても重要となるのは、背景輝度や視対象の大きさ等の視認性に影響を与える条件と、輝度差弁別閾  $\Delta L_{\text{min}}$  等の視認閾値との関係の把握である。すなわち、視認性を評価する上で必要なのは、視認性に影響を与える各条件から視認閾値を算出する方法の確立であることが分る。そして今回の場合、これら条件の中に観察者の年齢が加わる。

Blackwell や Adrian が報告した VL に基づく視認性評価モデルで使われている輝度差弁別閾算出モデル<sup>2) 3)</sup> でも加齢の影響が加味されているが、それらモデル式の構造は類似しており、次式のような形で記述することができる。

$$\Delta L_{min}(A) = AF(A) \cdot \Delta L_{minY} \{ L_b + K_a(A) \cdot L_{eq} \} \dots\dots\dots (6-6)$$

ただし、

A : 年齢 (才)

$\Delta L_{min}(A)$  : A 才時の輝度差弁別閾値 (cd/m<sup>2</sup>)

$\Delta L_{minY}$  : 20 代の輝度差弁別閾値 (cd/m<sup>2</sup>)

$L_b$  : 背景輝度 (cd/m<sup>2</sup>)

$L_{eq}$  : 等価光幕輝度 (cd/m<sup>2</sup>)

AF(A) : A 才時の 20 才代に対する輝度差弁別閾上昇係数

$K_a(A)$  : A 才時の 20 才代に対する等価光幕輝度上昇係数

ここで加齢により変化するのは、加齢に伴う輝度差弁別閾値の上昇を示した係数 AF と、等価光幕輝度の上昇を示した係数  $K_a$  である。すなわちこの式は、加齢に伴う水晶体の透過率の低下や視神経機能の低下による輝度差弁別閾の上昇だけでなく、眼球内光学系の光の散乱によって生じ、視野に重畳する等価光幕輝度の加齢に伴う上昇から起こる輝度差弁別閾の上昇も加味されている。

今回ここでは、式 (6-6) で示される輝度差弁別閾の算出モデルをもとに加齢の影響を加味した視認性評価方法を検討する。そしてこの式で、まず必要となるのは、20 代の輝度差弁別閾値である。本章の検討では、屋内照明を対象としていることから、20 代の輝度差弁別閾の算出には、図 6-3 に示す中根らの等視力曲線<sup>10)</sup>を用いることにした。図 6-3 に示す各視力に対する曲線は、文献 10) に掲載されている等視力曲線のグラフから読みとったものであり、左下から視力 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0 を得るために必要な輝度対比と背景輝度との関係を示している。視力は、弁別可能な視角サイズ (min) の逆数で表されるものであるから、横軸のコントラスト閾値  $C_{min}$  を下記 (6-7) 式にもとづき、背景輝度  $L_b$  (cd/m<sup>2</sup>) を用いて輝度差弁別閾  $\Delta L_{min}$  に変換すれば、等視力曲線は各サイズ毎に求められた輝度差弁別閾曲線と扱うことができる。

$$\Delta L_{min} = L_b \cdot C_{min} \dots\dots\dots (6-7)$$

また、この等視力曲線は、対象の輝度が背景輝度よりも低い正対比指標に対して求められたものである。実際の視環境における物の見えの多くは、屋内照明の場合、読書作業に代表されるように、正対比を対象とするものがほとんどである。正対比指標を対象とした場合の等視力曲線は、逆対比を対象とした場合の等視力曲線とはその特性が異なっていることから<sup>13)</sup>、屋内照明設計を前提とした今回の検討では、正対比指標を対象とした実験データを用いるのが適切である。さらにこの等視力曲線は、曲線を得るために採用した被験者の平均年齢も 23 才と、20 代の視認特性を代表する輝度差弁別閾曲線と見なせることも好都合である。

また、この等視力曲線は調整法で求められたものであるので、対象の呈示

時間は無限大と見なすことができる。呈示時間の輝度差弁別閾に与える影響は 2 秒以上では少ないことと<sup>11)</sup>、対象の呈示時間が 1 秒以下に設定されるような交通照明とは異なり<sup>12)</sup>、読み書きや事務作業等を対象とする屋内照明設計においては 2 秒以下の呈示時間に対するデータは特に必要ないと判断したことから、今回呈示時間に対する検討は行なっていない。

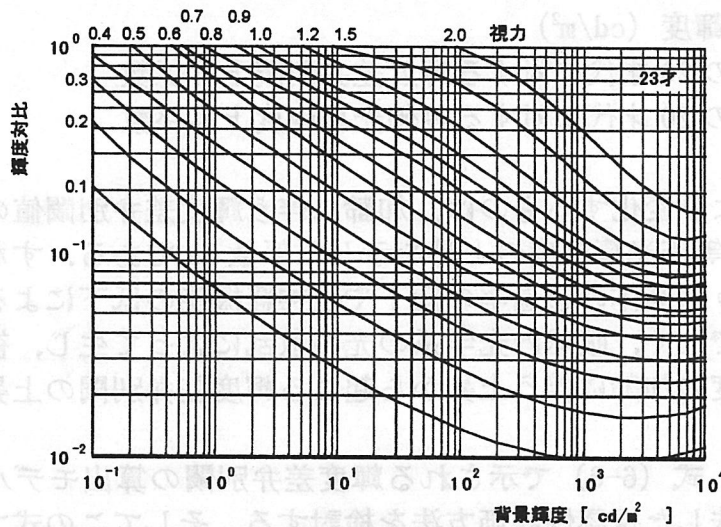


図 6-3 23 才の観察者に対する等視力曲線<sup>10)</sup>

以上述べてきた通り、今回 20 代の輝度差弁別閾データとしては、図 6-3 に示す被験者の平均年齢 23 才の中根らの等視力曲線を用いることにした。よって、加齢に伴う上昇係数 AF と Ka は、23 才に対する係数として扱うことにする。

まず、加齢に伴う輝度差弁別閾の上昇を示した AF は 235 名の被験者を用いて実験を行ない、年齢 A (才) と 20 才時の輝度差弁別閾を 1 とする輝度差弁別閾上昇係数 m との関係を定式化した下記 Blackwell の式を採用した<sup>14)</sup>。

$$\begin{aligned}
 A = 20 \sim 42 \text{ の時} & \quad m = 1.000 + 0.00795(A-20) \\
 42 \sim 64 \text{ の時} & \quad = 1.175 + 0.0289(A-42) \\
 64 \sim 80 \text{ の時} & \quad = 1.811 + 0.1873(A-64) \quad \dots\dots\dots (6-8)
 \end{aligned}$$

次に Ka に関しては、Vos が文献<sup>15)</sup>にまとめたように、多くの研究者から年齢別係数が報告されている。今回著者は、これら各研究者から報告されている年齢別等価光幕輝度の算出方法を検討して年齢 A (才) と等価光幕輝度算出定数 k との関係を定式化した下記 (6-9) 式に示す Adrian の式<sup>2)</sup>を採用した。

$$k = (0.0752A - 1.883)^2 + 9.2 \quad \dots\dots\dots (6-9)$$

ここで示されている k は、上記式に示されるようにグレア光源に存在により生じる角膜照度 Egl と、視線とグレア光源とのなす角  $\theta$  (deg) から等価光幕輝度 Leq を求めるための定数である。

$Leq = k Egl / \theta^2 \dots\dots\dots (6-10)$   
 以上述べてきた式 (6-8) と式 (6-9) とから, 23 才に対する値を 1 とし  
 て比をとり, 各年齢別に AF と Ka を算出した結果を表 6-1 にまとめて示す.

表 6-1 各年齢における AF と Ka

Age	AF	Ka
23	1.00	1.00
30	1.05	1.01
40	1.13	1.14
50	1.37	1.38
60	1.66	1.75
70	2.87	2.24
80	4.70	2.85

以上の検討から, 輝度差弁別閾の加齢による変化をシミュレートしてみる.  
 ここでは, より照明設計をする上で使いやすいように, 等視力曲線の形で提  
 示する.

まず式 (6-6) と AF および Ka の値に基づき, 各年齢 A に対する輝度差弁  
 別閾  $\Delta Lmin(A)$  を算出した. 今回, 23 才の眼の視野に生じる等価光幕輝度は,  
 視線と任意の部分とのなす角  $\theta$  (rad) に対する周辺視野の任意の部分の輝  
 度  $L(\theta, \phi)$  から等価光幕輝度を求める下記 (6-11) 式<sup>16)</sup> を用いて算出し  
 た.

$$Leq = \frac{9.6 \times 10^3}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_{0.0131}^{1.0} \frac{L(\theta, \phi) \sin \theta \cos \theta}{\theta^2} d\theta d\phi \dots (6-11)$$

この式で, 中根らの等視力曲線を得た実験で採用された視野は横 160×縦  
 90 (deg) の均一な輝度の視野であるが, 輝度 L を有するこの均一視野に対  
 する等価光幕輝度の計算値は 0.08L である. 従って今回, 中根らの等視力曲  
 線を求めた実験条件において, 平均年齢 23 才の被験者の背景輝度  $Lb$  (cd/m<sup>2</sup>)  
 の視野に対して生じた等価光幕輝度は全て, 0.08Lb (cd/m<sup>2</sup>) として扱うこ  
 とにした.

また今回, 式 (6-6) の 23 才の眼における輝度差弁別閾  $\Delta LminY$  には, 中  
 根らの等視力曲線を用いることにしたが, 以上述べてきたように中根らの等  
 視力曲線は, 背景輝度  $Lb$  に加えて, 0.08Lb (cd/m<sup>2</sup>) の等価光幕輝度が重畳  
 した状態の眼に対して得られたことに注意しなければならない.

以上の検討から,  $\Delta LminY$  に中根らの等視力曲線を用いた場合には, 式  
 (6-6) は以下の式 (6-12) のように書きかえることができる.

$$\Delta Lmin(A) = AF(A) \cdot \Delta LminY [ Lb + \{ Ka(A) - 1 \} \cdot 0.08Lb ] \dots\dots (6-12)$$

そして、ここで得られた輝度差弁別閾 $\Delta L_{min}(A)$ は、等価光幕輝度  $Le_q$  が重畳した被験者の眼を通した時の対象  $L_t$  と背景  $L_b$  の輝度差であるが、次式に示すように、その輝度差は輝度計などを通して測定される被験者の眼を通さない実際の輝度差でもある。

$$\Delta L_{min}(A) = (L_b + Le_q) - (L_t + Le_q) = L_b - L_t \quad \dots\dots\dots (6-13)$$

よって、次式に示すように、この $\Delta L_{min}(A)$ を背景の輝度（被験者の眼を通さない） $L_b$  で割れば、その値は、輝度計などで測定される実際の輝度対比に対する閾値  $C_{min}$  ということになる。

$$C_{min} = \Delta L_{min}(A) / L_b \quad \dots\dots\dots (6-14)$$

図 6-4 は、以上述べてきた検討結果の一例であり、前章で述べた実験で採用された高齢者被験者の平均年齢である 70 才の等視力曲線を示している。

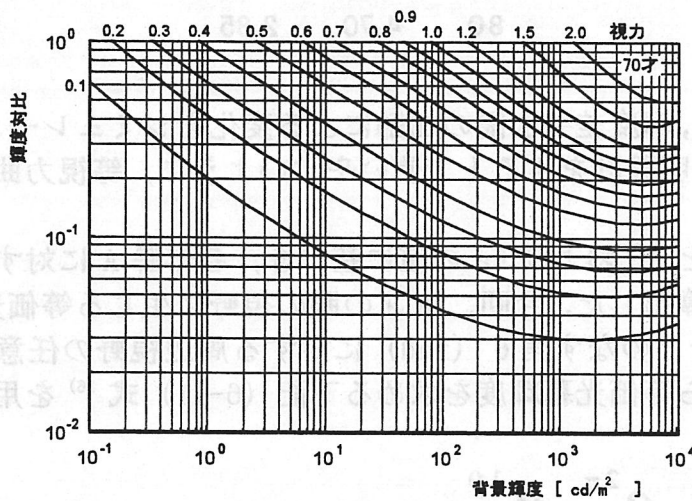


図 6-4 70 才の観察者に対する等視力曲線

以上の検討により対象年齢に対して求めた等視力曲線は、その妥当性を検証するためにも、実際の視環境において行われた実験データとの対応関係を明らかにする必要がある。ここでは、読書作業に対する適正照度を明らかにする目的で行われた Inoue らの実験結果<sup>17)</sup>と著者の求めた年齢別等視力曲線との対応関係を検討してみた。Inoue らの実験では、充分大きな均一背景上に文字指標を置いて評価実験を行っているので、著者の求めた年齢別等視力曲線をそのまま適用できる。

Inoue らは、読書作業を想定した実験条件下で、3, 30, 200, 800, 1500, 5000 (1x) の紙面上の各照度に対し、「読みやすさ」と「紙面に対する明るさ感」の 2 種類の評価尺度にもとづき若齢者（平均 23 才）と高齢者（平均 70 才）に対して心理評価を行っている。「読みやすさ」は、文字の認識、すなわち輝度差弁別閾に関連する評価尺度であることから、ここでは「読みやすさ」に対する実験結果に対し検討を行う。

図 6-5 は、Inoue らが行った実験結果の一部であり、輝度対比 0.93 で視角 20~27 分のサイズ（観察者の観察距離により異なる。視距離 40cm で 8 ポイント文字に相当）の文字に対して得られた実験結果を、文献 17) から読みとって示したものである。

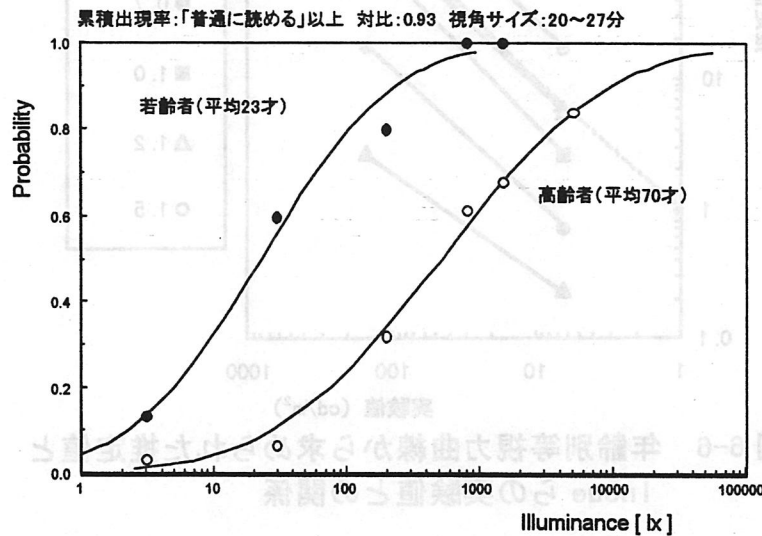


図 6-5 照度と「普通に読める」以上の評価となる累積確率との関係<sup>17)</sup>

図 6-5 に示すプロット点は、実験で用いられた評価尺度「読めない」、「やっと読める」、「多少読みにくい」、「普通に読める」、「読みやすい」、「非常に読みやすい」のうちで、「普通に読める」以上の評価（「読みやすい」と「非常に読みやすい」を含む）の累積確率を示している。そして、著者のほうで、若齢者と高齢者の結果のそれぞれに対し、累積正規確率分布にもとづく回帰曲線をひき、「普通に読める」以上の累積確率が 50%となる照度  $E(1x)$  を読みとった。そして、背景を構成している紙面が完全拡散面に近いことから、下記式にもとづき背景輝度  $L_b$  ( $cd/m^2$ ) に変換した。ここで、紙面の反射率  $\rho$  は実験で用いられた反射率 0.89 である。

$$L_b = \rho E / \pi \dots\dots\dots (6-15)$$

以上の手順で、若齢者と高齢者のそれぞれに対して得られた「普通に読める」以上の評価の累積確率 50%となる 2 点の背景輝度（以後、実験値と呼ぶ）と、図 6-3 ならびに図 6-4 の等視力曲線から得られた対比 0.93 のランドルト環指標に対する閾値（以後、推定値）との関係を図 6-6 に示す。図中のシンボルの違いは視力の違いを示しており、図中の点線上の値は、実験値と推定値が一致することを意味している。

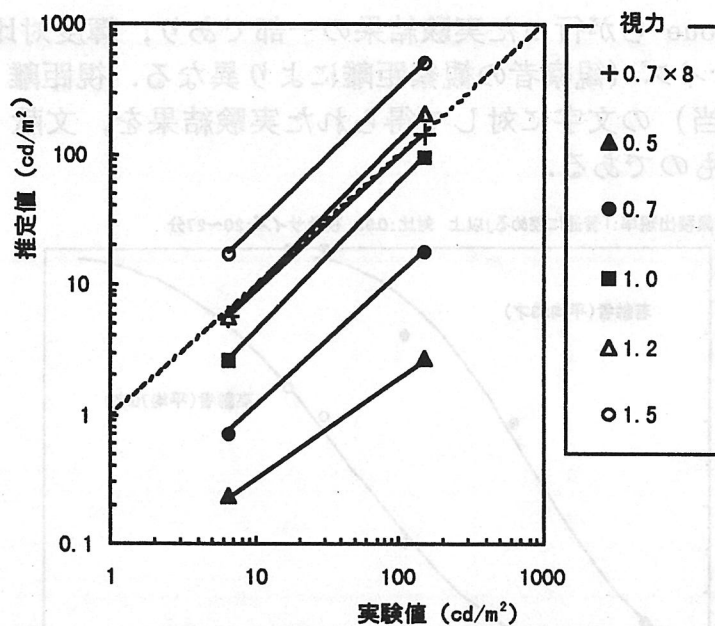


図 6-6 年齢別等視力曲線から求められた推定値と Inoue らの実験値との関係

図 6-6 は等視力曲線から得られた視力 1.2 のランドルト環指標の視認閾値が実験値とよく一致していることを示している (図中シンボル△). また今回の検討では, 若齢者と高齢者間の実験値の比に最も近い値を示したのは視力 0.7 に対する推定値である (シンボル●). そして図 6-6 は, この視力 0.7 を得るための背景輝度の 8 倍の値が実験値とよく一致していることを示している (シンボル+).

これらの結果は, 対比 0.93 の 8 ポイントの文字の文章に対し 50% の人が普通に読めるための背景輝度は, 著者の作成した年齢別等視力曲線を用いることにより, (1) 視力 1.2 を得るために必要な背景輝度, または, (2) 視力 0.7 を得るために必要な背景輝度の 8 倍のどちらかで算出することができる可能性を示している. これを前述の  $VEL^{8) 9)}$  および  $VL^{1) 2)}$  で評価すると, (1) の場合は, 視力 1.2 の視認閾値に対し  $VEL=1$ ,  $VL=1$  であり, (2) の場合には, 視力 0.7 の視認閾値に対し  $VEL=8$ ,  $VL=2.2$  ということになる.

以上の検討はデータ数がまだ少ないため, 読書作業に対する視認性評価を, 上記(1)と(2)の方法のうち, どちらの方法を採用して行うべきかという議論や, 作成した年齢別等視力曲線の妥当性の検証に関しては, 図 6-6 に示す検討だけで結論を出すのは尚早であると考えられる. しかし, 以上述べてきた検討は, 輝度差弁別閾の加齢効果のシミュレーションを行うことが視作業行為における視認性を検討する上で有効な手法であることを示したと言えよう.

## 参考文献

- 1) CIE:An Analytic Model for Describing the Influence of Lighting Parameters upon Visual Performance, Publication No.19/2.1 (1981)
- 2) W. Adrian : Visibility of Targets : Model for Calculation, Ligh. Res. Technol., 21-4, pp.181-188(1989).
- 3) 田淵義彦 : 「CRT ディスプレイの表示文字の好ましい輝度比のビジビリティレベル」, 照学誌, 81-8A, pp.700-702(1997).
- 4) W. Iwai and T. Sakaguchi: Brightness of Self-luminous Delineators in Different Colors, J. Illum. Engng. Soc., 27-1, pp.49-52(1997).
- 5) K. Narisada, T. Saito, Y. Karasawa: Perception and Road Lighting Design, Proceeding of SANCI, pp.83-86(1996).
- 6) W. Adrian: Visibility Level in Street Lighting: An Analysis of Different Experiments, J. Illum. Engng. Soc., 22-2, pp.49-52(1993).
- 7) W. Adrian and R. Gibbons: Fields of Visibility of the Nighttime Driver, Progress in Automobile Lighting97, pp.8-21(1997).
- 8) 佐藤隆二, 伊藤克三, 大野治代 : 「見やすさに基づく明視照明設計に関する研究 - 照明の評価指標としての見やすさレベル (VEL) の有用性」, 照学誌, 64-10, pp.541-548 (1980).
- 9) 中根芳一 : 「読みやすさ評価に基づく質的照明設計法に関する研究」, 照学誌, 65-10, pp.534-540 (1981).
- 10) 中根芳一, 伊藤克三 : 「明視照明のための標準等視力曲線に関する研究」, 建学論, 229, pp.101-109 (1975).
- 11) H. R. Blackwell and O. M. Blackwell: Population data for 140 normal 20-30 year olds for use assessing some effects of lighting upon visual performance, J. Illum. Engng. Soc., 9-3, pp.158-174(1980).
- 12) K. Narisada: Perception under Road Lighting Conditions with Complex Surroundings, J. Light & Vis. Env., 19-2, pp.5-14(1995).
- 13) 岩田三千子, 西田尚代, 中根芳一 : 「逆対比指標の等視力曲線に関する研究」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1013-1014 (1994).
- 14) O. M. Blackwell and H. R. Blackwell : Individual responses to lighting parameters for a population of 235 observers of varying ages, J. Illum. Engng. Soc., 9-4, pp.205-232(1980).
- 15) J. J. Vos : Disability Glare - A state of the art report, CIE J., 3-2, pp.39-53(1984).
- 16) P. Moon and D. E. Spencer : Lighting Design, Addison Wesley Co. (1947).
- 17) Y. Inoue and Y. Akizuki : Influence of age and visual acuity on Readability and Brightness - The proper illuminance for reading (part 1) -, Proceedings Lux Pacifica '97, A-55-60(1997).

### 6.1.3 高齢者と若年者の空間周波数特性 (MTF)

5章で紹介した高齢者と若年者の空間周波数特性 (MTF) データを考察する。まず、色温度による結果の違いを見るため、1 lx と 1000 lx の結果だけを図6-7のようにリプロットしてみたところ、1000 lx の若年者の結果で 6700K の高空間周波数での感度が 3000K や 5000K の感度よりも若干高いことを除いて、色温度による空間周波数特性の顕著な違いはないことがわかる。

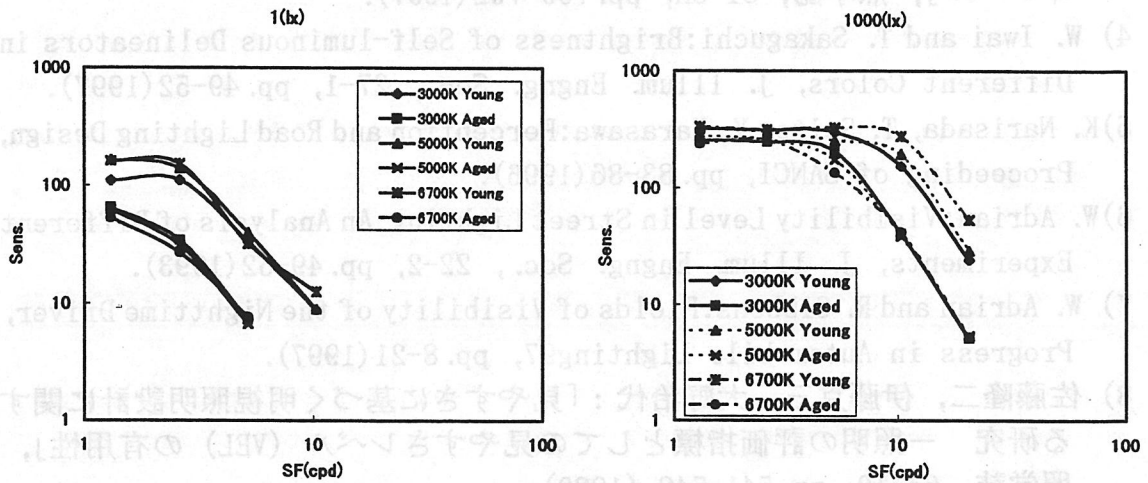


図 6-7

次に、5000K の若年者 (図6-8) と高齢者 (図6-9) の空間周波数特性の照度依存性を見ると (図中のシンボル),

$$S = \alpha (SF) \cdot E^{\beta (SF)}$$

の形の式でよいフィッティングが行なえることが分かった (図中の実線)。ここで、SF は空間周波数 (cpd),  $\alpha (SF)$  と  $\beta (SF)$  は SF の関数を示す。

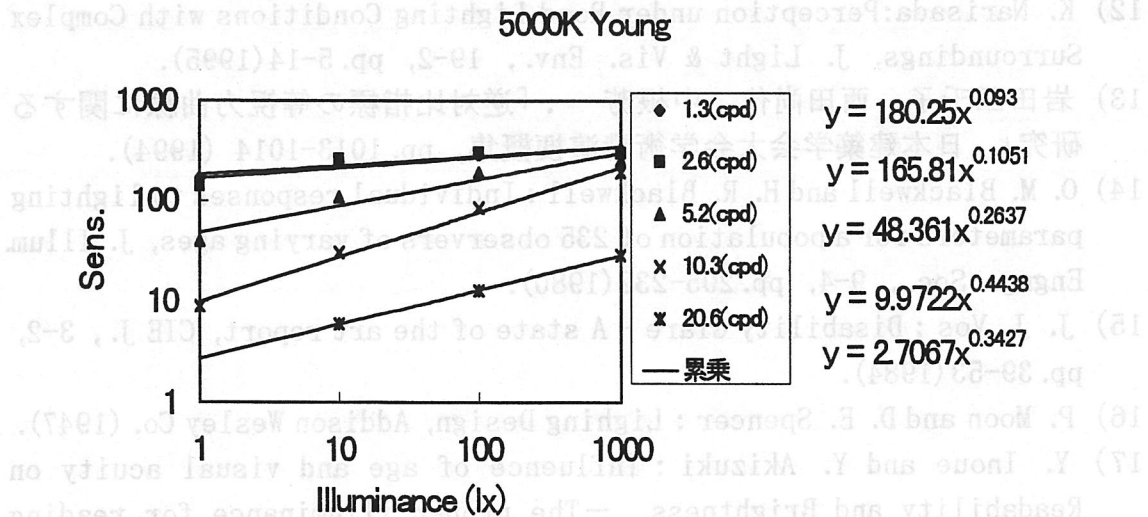


図 6-8

5000K AGED

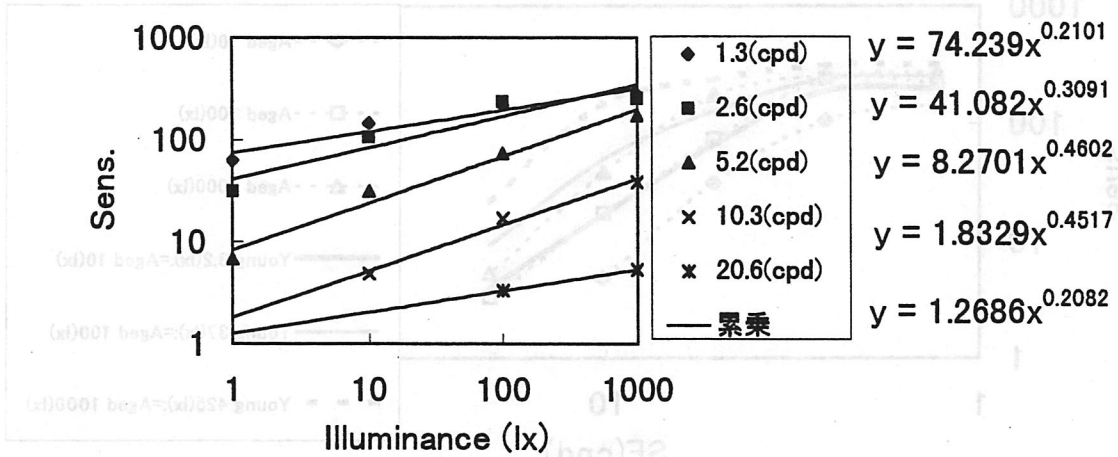


図 6—9

5章の実験で用いた3種の色温度の蛍光ランプの分光放射分布から、(6-3)式のような網膜到達照度式を求めると、次式が得られる。

$$3000\text{K 照明} : E' = \left[ \left( \frac{149.98 - 0.405A}{185.62 - A'} \right) \left( \frac{112.73 - A}{112.73 - A'} \right) E^{0.7613+0.001A} \right]^{\frac{1}{0.7613+0.001A'}}$$

$$5000\text{K 照明} : E' = \left[ \left( \frac{119.60 - 0.446A}{142.52 - A'} \right) \left( \frac{112.73 - A}{112.73 - A'} \right) E^{0.7613+0.001A} \right]^{\frac{1}{0.7613+0.001A'}}$$

$$6700\text{K 照明} : E' = \left[ \left( \frac{109.90 - 0.464A}{141.96 - A'} \right) \left( \frac{112.73 - A}{112.73 - A'} \right) E^{0.7613+0.001A} \right]^{\frac{1}{0.7613+0.001A'}}$$

A=22歳, A'=70歳で計算してみたところ, 3000Kの結果はA光源と, 6700Kの結果はD65光源の結果とほぼ同様であることが分かった。そこで, 今回は色温度に依らない平均値で等価照度を求めると次のようになる。

22歳	70歳
3.2(lx)	10(lx)
37(lx)	100(lx)
425(lx)	1000(lx)

この等価照度と図6—8の実験式を使って, 網膜到達照度の違いによって, 空間周波数特性の加齢効果を説明できるかを検討した。図6—10にその結果を示す。

## 5000K by Equivalent Illuminance

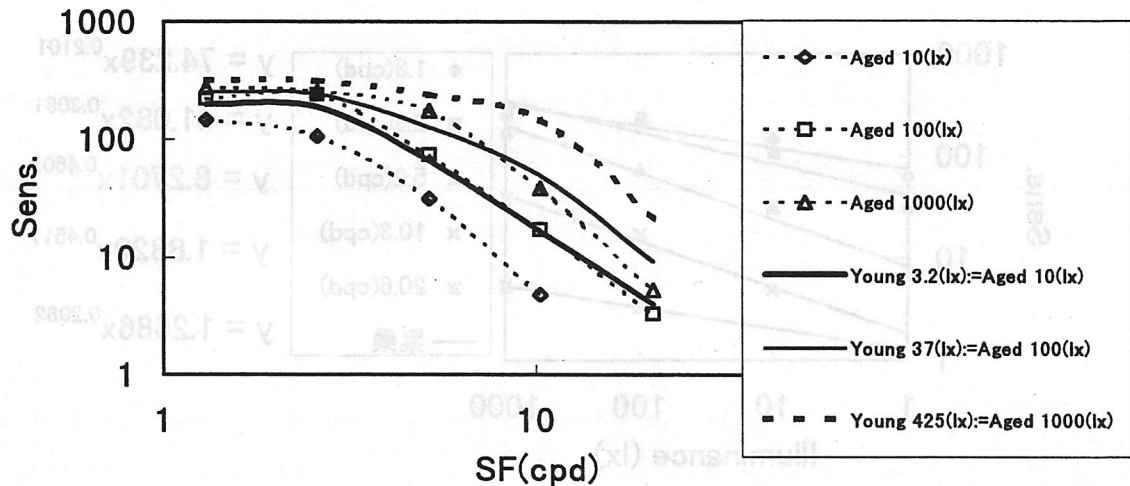


図6—10

この結果を見ると、高齢者と若年者の等価輝度に対する値が一致しておらず（特に高空間周波数領域）、網膜到達照度だけでは、高齢者の空間周波数特性の劣化を説明できないことが分かる。すなわち、何らかの神経系の加齢変化の影響（眼球内光散乱の増大、受容野の拡大、絶対感度の低下 etc.）が関与していることを示唆している。

以上、視覚の空間周波数特性の実験データを考察してきたが、今回の結果の新規性・重要性・応用性について簡単にまとめておく。これまで、照明の定量的評価法に、「(ランドルト環)視力」が主に用いられてきた。この視力は、日常における文字や細かいものを見る際の指標として、非常に分かりやすい眼の分解能を数値で示すことができる。しかし、この視力で測っているものは、高いコントラストのパターンをどの位小さくしても見えるかを調べていることに等しい。すなわち、今回得られた空間周波数特性の（横軸が空間周波数、縦軸が感度の）グラフのかなり右端よりの1点（高い空間周波数の閾値）を求めているにすぎない。今回の結果から得られたように、若年者と高齢者の空間周波数特性の違いは、照度レベルによってかなり異なり、照度が高い場合には高い空間周波数で大きな差が現れることが示された。したがって、高い視力(0.5以上)を得るのには、明るい環境でも高齢者では若年者に比べてかなり高い照度を必要とするが、視力0.1（空間周波数で6 cpd）程度であれば、高齢者も若年者と同じ照度レベルで十分なことが定量的に示されたことになる。また、低照度下では、粗い分解能でも高齢者は若年者に比べて見えにくい、すなわち、同じ視力となるためには若年者よりも相対的に高い照度を必要とすることも示している。すなわち、空間周波数特性は、通常の「視力」の情報を含んでいるだけでなく、日常生活で実用的な眼の分解能に関する情報を提供してくれる、有効な指標であると言える。

(岡嶋克典)

## 6.2 住宅所要照度に関する実験データの分析

以上で検討してきた視覚特性の加齢効果により、第5章で述べられている実験で得られた快適照度と必要照度の加齢に伴う変化を説明できるかどうかを検討してみる。本実験の目的の一つは、未だ理論的根拠があいまいで、その推奨値が不明確な高齢者に適用できる照明基準を設定するための根拠を提示することである。そして現在の照明設計においては、JISの照度基準<sup>1)</sup>に示されている照度値が推奨できる値として広く用いられている。よって今回の分析は、JIS照度基準と比較する形で進めていくことにする。

現在、照明設計で推奨値として使われているJISの照度基準ではあるが、その中に付表の形で示されている照度値は、「所要照度」と記述されており、常時維持しなければならない値と書かれている。ここでもし、「快適照度」という形で最も好ましいと感じる照度値を推奨するようなことであれば、今回の快適照度の実験結果でも見られるようにJISで30~75[lx]と示されている廊下であっても、100[lx]以上の明るさが要求されることもありうる。そうすると、省エネルギーにも関連する費用対効果の観点からは望ましくないことになる。また、「お客様が来たときには普段よりも明るくして迎える」等、快適と感じる明るさはその時々状況に応じて変化するものであり、器具デザイン、照明空間の輝度分布など照度外の照明要因にも強く影響を受けるものである。すなわち、JISに示されている照度値は、生活上の必要な行為をする上で不快と感じることのない問題ないレベルを呈示しており、そういった意味での「所要照度」とであると著者は解釈する。

今回の実験データに対してはまず、得られた必要照度と感じる各被験者の調整値の対数値に対して正規分布の累積確率曲線を求め、その95%値を算出した。この値は、対象とした行為をするのに必要な照度を満足しており、問題ない照度であるとほとんどの人(95%)が判断している照度値であると言える。しかし、必要最小限の照度という観点での評価であるので、著者の解釈するJISの「所要照度」よりも低い照度に位置するものであると考える。行為をするのに必要な照度は確保されているものの、暗くて不快と感じられる可能性のある値であるからである。また同時に、快適照度に対しても累積確率50%値を算出した。以上の必要照度95%値(以下、必要照度下限値)から快適照度50%値(最適値)間の領域は、「対象とする行為をするのにほとんどの人が問題ないと判断した照度値から最適と感じる照度までの範囲」と言うことができる。そして、JIS照度基準の「所要照度」は、著者の解釈に従えば、この範囲内に位置するものである。

以上述べた必要照度下限値と最適値を各条件に対して算出し、JISの「所要照度」との比較検討を行ってみる。ここでは、住宅内の照明に関して高齢者に対し行われた実地調査<sup>2)3)</sup>で、「暗い」と言う不満の声が多かった廊下、階段、玄関の3部位に絞って検討を進めた。図6-11は廊下、図6-12は階段、そして図6-13は玄関に対する算出結果をそれぞれ、対応するJISの所要照度と同時に示している。

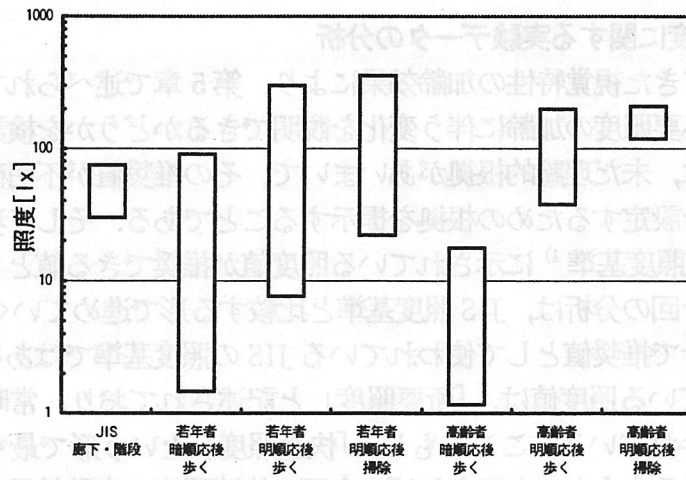


図6-11 廊下における JIS 所要照度と実験値（必要照度下限値～最適値）との比較

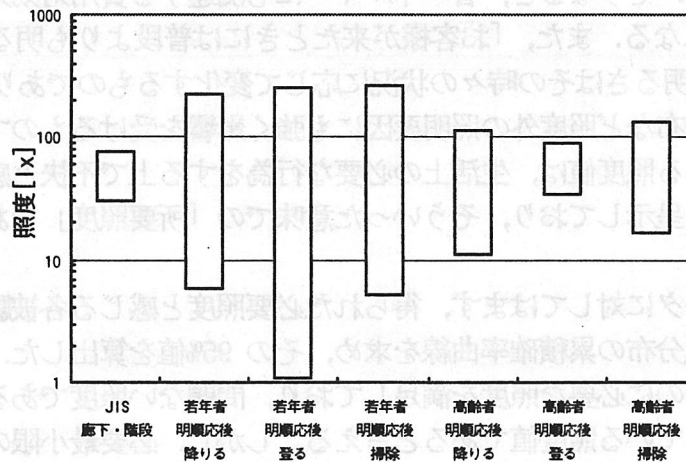


図6-12 階段における JIS 所要照度と実験値（必要照度下限値～最適値）との比較

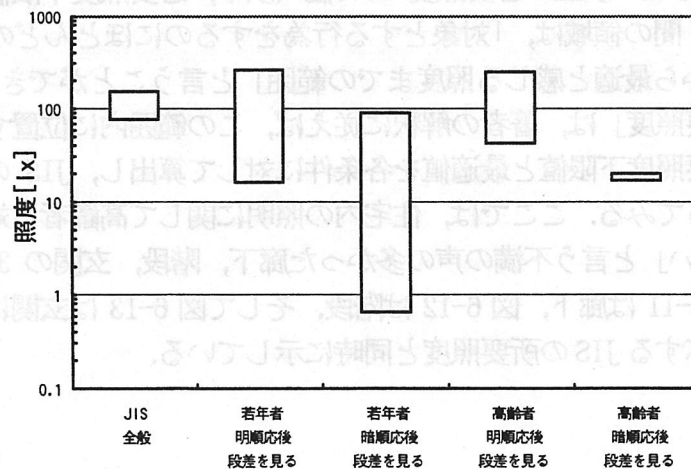


図6-13 玄関における JIS 所要照度と実験値（必要照度下限値～最適値）との比較

まず、若年者に関しては、実験データから得られた必要照度下限値から最適値の範囲内に、かつ必要照度下限値よりも十分高いところに JIS の所要照度の範囲が入っており、若年者に対する JIS 所要照度の妥当性が示されている。一方、高齢者に対しては、明順応後の歩行など必要照度下限値よりも低いところに JIS の下限値が位置している行為が存在しており、JIS の下限値では、高齢者にとっての所要照度の要件を満たすことができないことを示している。しかし、JIS の上限値を満たしていれば、今回実験が対象とした行為の中では、明順応後の廊下での掃除行為以外に対しては、JIS の上限値は所要照度としての要件を満足する。ただし、同じ明順応後の掃除でも、対象を階段にした時には JIS 上限値でその要件を満足している。階段と廊下での観察条件の違いは視距離が違うことである。特に今回の実験では、実際に掃除をして評価をしたのではなく、掃除を想定させての観察のみの評価であるため、廊下においては、廊下の奥のほうまで見渡しての評価だった可能性が高い。実際の掃除においては、足下など歩行時よりも近距離の対象を見て行うことが多いことから、詳細な検討は別途必要ではあるが、廊下に対しても階段の時と同様、JIS 上限値で要件を満足すると考える。

さらに注目すべきことは、暗順応後の廊下の歩行、ならびに玄関の段差を見る条件において、高齢者と若年者の最適値に 4 倍以上の格差があり、JIS の下限値が高齢者に対する実験値の最適値よりもかなり高いところ (1.5 倍以上) に位置していることである。今回の実験で用いた調光用照明器具は、光源の丸形蛍光灯が露出している状態の不快感の生じやすい環境であったことから、不快グレアを感じやすい高齢者がまぶしさに対して敏感に反応し、快適照度の調整値が下がったものと推測する。従って、この結果は、夜帰宅時の玄関照明などの暗順応後に観察される可能性のある照明に関しては、所要照度の確保のみならず、グレアを防ぐ配慮を十分にする必要があることを示していると言えよう。今回の実験で用いた照明器具による照明環境に対しては、観察前に暗順応がある場合とない場合とで設定照度を変えるのが望ましいと言える。

また、図 6-11~6-13 に示される結果はいずれも、必要照度下限値から最適値に至るまでの照度幅が、若年者に比べて高齢者が狭くなっていることを示している。必要照度下限値の加齢に伴う上昇は、前節で述べてきた加齢に伴う視覚特性の変化によるものと推測できる。図 6-14 に実験値の下限値に対する高齢者と若年者との比を示すが、その比は幅広く、最低で高齢者は若年者に対して 0.79 倍、最高で 33 倍という値となっている。最低の 0.79 倍となっていたのは、暗順応時の廊下の歩行であり、高齢者のほうがむしろ若年者よりも照度を必要としないという結果となっている。これは秋月ら<sup>4)</sup>が行った深夜の廊下照明での歩行を対象とした実験でも見られた傾向であるが、この現象を説明できる理論は前節で述べたものの中にはないので、ここでは検討をせず、今後の課題としたい。

前節で述べた輝度差弁別閾の加齢効果のシミュレーションから作成した平均 23 才の若年者と平均 70 才の高齢者の等視力曲線から、設定した輝度対比と視力を有する指標を観察したときの弁別閾を与えるのに必要な背景輝度の比を算出して表 6-2 に示す。

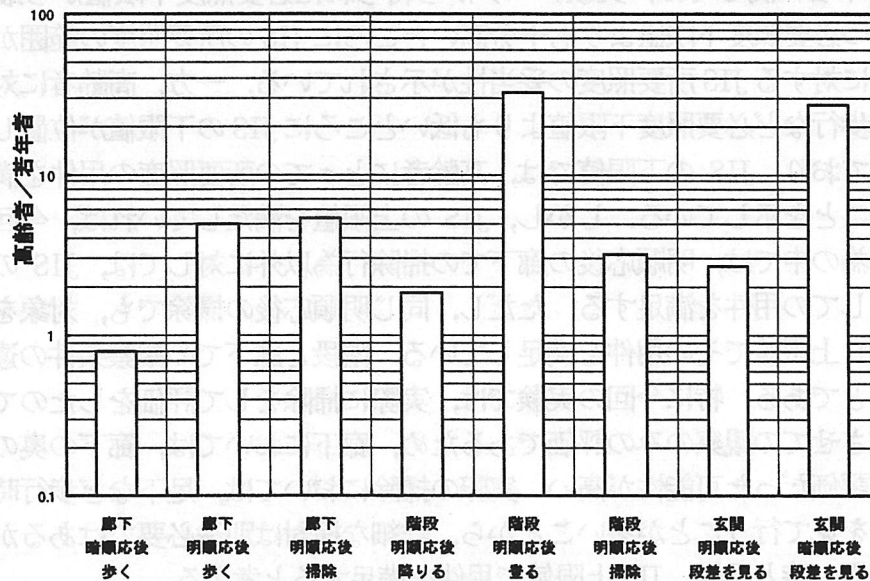


図 6-14 必要照度下限値に対する若年者と高齢者の比（高齢者／若年者）

表 6-2 輝度差弁別閾を与える背景輝度の若年者に対する高齢者の比

視力	輝度対比		
	0.2	0.4	0.6
0.1	9.4		
0.2	14.9	9.6	
0.3	15.7	10.7	8.1
0.4	15.7	13.4	12.1
0.5	25.4	18.2	16.9
0.6	22.9	17.8	17.3
0.7	28.1	20.2	22.4

表 6-2 の結果は、弁別閾を与える背景輝度の若年者に対する高齢者の倍率は、対象とする視力が低いほど、また、輝度対比が高いほど、その値は小さくなっていくが、たとえ視力 0.1 という低い視力の場合であってもその倍率は 8 倍以上あることを示している。すなわち、少なくとも 8 倍程度の格差が高齢者と若年者で生じていないと、表 6-2 に示される輝度差弁別閾の加齢効果からは必要照度下限値の加齢に伴う変化を説明できないということになる。図 6-14 に示す結果の中で 8 倍以上の格差があったのは、階段を登る時の条件と、暗順応後に玄関の段差を見る条件の 2 条件である。階段を登る時にも階段の段差を視認する必要があることから、これらの 2 つの行為は共に段差の視認性が評価の判断基準になっていると推測できる。そして、これら 2 つの行為に対する結果の共通点として、若年者の必要照度下限値が同じ部位の他の行為に比べて低い値となっていることを挙げるができる。若年者においては他の行為よりも低い照度で十分であると感じているのに、高齢者においては他の行為の照度よりもより高い照度を必要

としているのである。さらに必要照度下限値の算出のために作成した必要照度の実験値に対して求めた累積確率曲線を見ると、高齢者に対する累積確率曲線の勾配が共に緩やかであるという共通点も見られた。すなわち、この2つの行為に対して高齢者被験者が最低限必要であると感じた照度には大きな個人差が存在していた。これらの共通点を説明できる要因としては、グレアの影響を挙げることができる。暗順応後の玄関での段差の見えの行為に対しては、すでにグレアの影響を受けている可能性を示しているが、階段の登りの条件においてもまた、階段を降りる時に比べ、天井に設置してある実験用の照明器具が目に入りやすい位置での観察という、グレアの影響を受けやすい条件であった。よって、これら二つの行為では共に、光源が視野内に入ることによって心理的な不快を生じる不快グレアだけでなく、グレア光源が視野周辺に存在することで加齢に伴い眼球内散乱光が増え、結果的に視対象の視認性を低下させる減能グレア<sup>5)</sup>の影響も無視できない。すなわち、これら行為においては、まぶしいけど明るくして減能グレアにより低下した視認性を回復したいと考える視認性確保重視型の観察者と、まぶしいのは嫌だから視認性がある程度確保されてほしいというグレアカット重視型観察者の両極端な2種類の観察者が存在していたことが予測でき、そして、そのために個人差が大きくなり、累積確率95%照度値で示される必要照度下限値が、高い値になったと考える。実際にこれら行為に対する実験データを見ると、データの2群化が見られていた。

以上述べてきたことは推測の域を脱しないが、今回、高齢者の必要照度下限値が若年者の8倍以上を必要とする結果となった行為に関しては、今回の実験で、特に配慮しなかったグレアの影響が複雑に寄与している可能性は否定できない。よって、これら行為に対しても必要照度下限値に対するこれ以上の検討は行わず、今後の課題とする。

以後は、以上述べてきた以外の行為に対して考察をする。対象となるのは、廊下における「明順応後歩行」と「明順応後掃除」、階段における「明順応後降りる」と「明順応後掃除」、そして玄関における「明順応後段差を見る」である。これらの行為においては、若年者の必要照度下限値10[lx]前後の値に対して、高齢者はその2~5倍の照度を必要照度下限値としていることが図6-14に示されている。6.1.1節で述べられている網膜到達照度に対する検討では、20代の10[lx]レベルと同じ網膜到達照度となるためには、60才では約2倍、70才、80才は、それぞれ3倍、4倍の照度を必要とするという結果を示していた。従って、個人差を配慮すれば、2~5倍の照度を必要とするというこれら行為に対する必要照度下限値の加齢に伴う変化は、ほぼ網膜到達照度の加齢変化で説明できるものである。

前節では、輝度差弁別閾や、空間周波数特性の加齢変化は、網膜到達照度の加齢変化では説明できないものであり、そして、読書作業に代表される視作業の加齢変化は、これら輝度差弁別閾や空間周波数特性の加齢効果で説明できることを示した。しかし、今回対象とした歩行や掃除などの日常生活の一般行為に対しては、網膜到達照度の加齢変化だけで必要照度の加齢に伴う変化をほぼ説明することができた。この理由としては、これら一般的生活行為が、読書作業のような詳細な情報を必要としないためであったと考えることができる。この仮説を検証するために、第5章に述べられている空間周波数特性の実験で用いられた指標の中で、もっとも低い空間周波数であった1.3[cpd]以上

の空間周波数情報を除いたデジタル画像を画像処理により作成し、一般的生活行為において、1.3[cpd]以内の低空間周波数領域の情報のみでどの程度の視認性が得られるのかを見てみた。本章の章末の画像6-1に、それら画像の一部を掲載した。実際の処理としては、実験時に観察者の観察位置からCCDカメラを用いて撮影した画像に対して、注視点を中心とした512ドット×512ドット（視角30.4度）の画像領域を切り取り、FFT（Fast Fourier Transform）を実施、そして、1.3[cpd]以上の空間周波数領域の情報を除去後、逆FFTすることで画像を得ている。この時の画像信号の強度は輝度の対数値に比例するように事前にシステムのキャリブレーションをしている。本来なら、撮影、画像処理、印刷の各系における空間周波数特性を考慮しなければならないが、今回対象とした空間周波数が1.3[cpd]と、系の空間周波数特性の影響を受けにくい低空間周波数領域であったために問題ないと判断した。また、画像6-1には参考として、元画像も同時に示した（8.4[cpd]までの情報を含んでいる）。画像6-1を見ると、人の顔の識別をするのに1.3[cpd]以内の空間周波数情報では問題があるが、廊下の歩行をする分には、1.3[cpd]以内の空間周波数情報でも十分歩行可能であることが読みとれる。同様の検討をした結果、階段の上り下りや玄関の段差等も、1.3[cpd]以内の情報でそれら行為を最低限実施可能であることが確認できた。

以上述べてきたように、住宅内の一般的生活行為においては、読書作業のような高い空間周波数情報を必要としないことが分かった。図6-10に示す空間周波数特性に対する検討は、10[lx]以上の照度レベルでは、低空間周波数領域の加齢に伴うコントラスト感度の低下は、網膜到達照度の低下を補うことでほぼ補償することができることを示していた。よって今回、一般的な生活行為に対する必要照度下限値の加齢に伴う変化を、網膜到達照度の加齢効果で説明できたとと言える。

玄関、廊下、階段に対して行ってきた今までの検討から、健常高齢者に対する一般的な生活行為に必要な照度の下限値は、若年者に対して2~5倍の照度を必要とすることが分かった。そして、JISの「所要照度」の上限値はすでにこの必要照度を満足しているレベルにある。しかし、だからと言って、現状の照明で良いと言うことはできない。井上ら<sup>9)</sup>は、住宅内の照度を実際に測定調査した結果、玄関、廊下、階段の3部位においてJISの「所要照度」の下限値に達していない家庭が50%以上あることを明らかにしている。よって、高齢者にとっても優しい環境であるためには、未だ世の中に数多く存在しているJISの下限値さえも満たしていない照明を改善していく必要があると言えよう。さらに今回の検討でも見られたように、高齢者はグレアの影響を強く受ける。よって、必要照度の確保だけでなく、可能な限りグレアを押さえた照明設計であるような配慮も一方で必要である。

（岩井 彌）

#### 参考文献

- 1) JIS Z9110-1979
- 2) 岡田, 足立, 中川, 川北, 石原, 松岡: 高齢期の住まいに関する調査, 松下電工技術報, 55, pp. 34-41 (1996)
- 3) 高橋, 渕田: 高齢者と推奨照度, 照学誌, 80(7), pp. 467-471 (1996)

- 4) 秋月, 阪口, 伊東, 横田: 夜間の目覚め時の歩行照明の要件～廊下の深夜照明～, 松下電工技報, 55, pp. 24-27 (1996)
- 5) Holladay, L. L. : The fundamentals of glare and visibility, J. Opt. Soc. Am., 12(4), pp. 271-320 (1926)
- 6) 井上, 大野: 室内照度ならびに居住者の明るさに対する満足度 住宅内の照明環境に関する実態調査 (その1), 建学論, 507, pp. 1-5 (1998)

### 6.3 まとめ

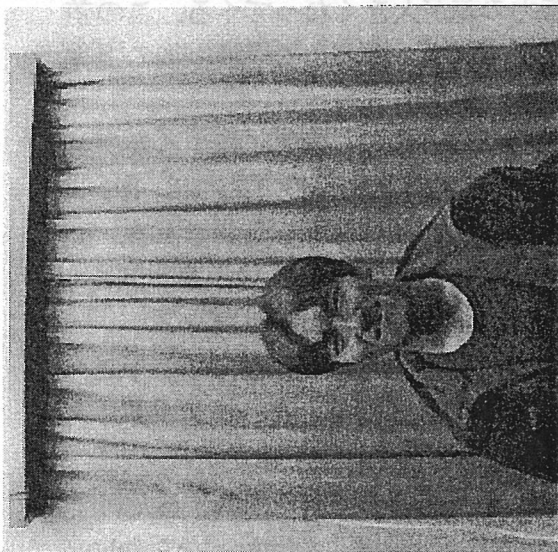
本章での検討の結果をまとめると以下のようになる。

- 1) 通常の歩行などの高い視力を必要としない行為に関する必要照度の加齢変化は, 低空間周波数領域におけるコントラスト感度の加齢効果で説明できる可能性が強い。そしてその感度は, 加齢に伴う水晶体の透過率の低下と縮瞳による網膜到達照度の低下を補うことで, ある程度補償できる (高齢者は若年者の 2 倍から 5 倍の照度または輝度を必要とする)。
- 2) 読書等の詳細な視作業が要求される場合の必要照度の加齢に伴う変化は, 輝度差弁別閾の加齢効果, 又は, 高空間周波数領域のコントラスト感度の加齢効果で説明できる (高齢者は若年者の 10 倍以上の照度や輝度を必要とする)。すなわち, 詳細な視作業に対する照明は, 加齢に伴う網膜到達照度の低下分を補うだけでは不十分である。
- 3) 読書作業に代表される詳細な視作業や低照度下など, 情報取得が困難な状況となるのに従い, 高齢者と若年者間でその情報取得能力の差が大きくなっていく。この差は, 加齢に伴う網膜到達照度の低下だけでは説明ができず, 主として網膜以後の視覚情報処置の機能低下によるところが大きいと推測できる。
- 4) 今回の検討で対象とした廊下, 階段, そして玄関においては, 視覚に関する疾病がなく眼鏡等で視力の矯正がなされている健常高齢者を対象とするのであれば, JIS 照度基準の上限値を満足している限り, 生活上問題のない照明空間を提供できる。従来から言われてきた 2 倍以上の照度を必要とするのは, 最低限必要な必要照度に対してであり, JIS 照度基準の上限値はほとんどこれら必要照度を満足している。

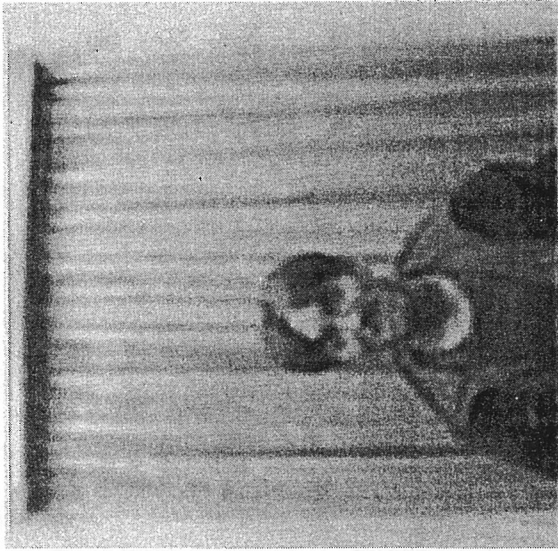
ただし, 疾病を有して視機能が低下している人や, 車椅子での移動などのように必要とする視覚情報が異なる人も含めて照明を検討する場合には, さらにより質の高い照明要件を必要とするので, 別途詳細な検討が必要である。

また, 高齢者はグレアの影響を受けやすいので, 必要照度の確保を徹底するだけでなく, 可能な限りグレアを押さえる照明設計も一方で十分配慮しなければならない。

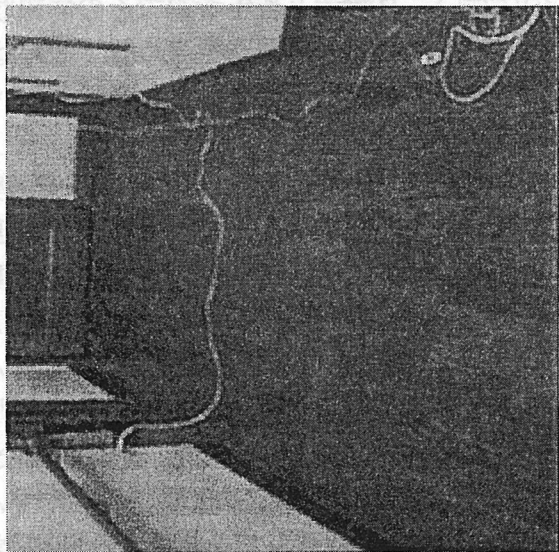
人の顔の見え  
元画像



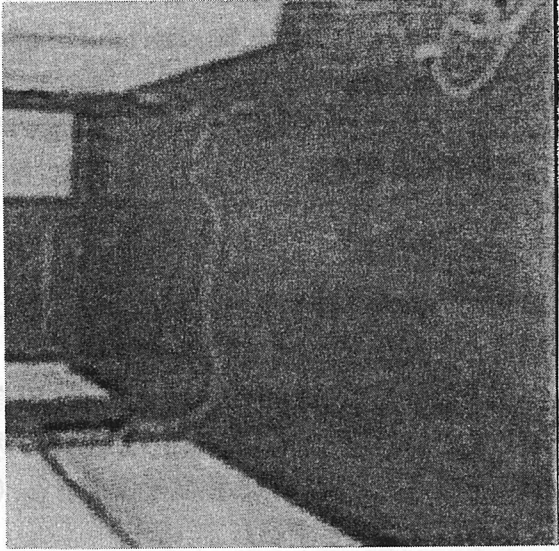
1.3cpd以上  
カット



廊下  
元画像



1.3cpd以上  
カット



画像6-1 人の顔の識別, ならびに廊下を歩行するのに必要な情報を与える空間周波数領域の検討

## 7章 高齢者問題の現状と将来展望

### 7.1 高齢者視環境設計における配慮要因と将来展望

高齢者に不都合のない視環境を実現するには、まず視環境設計で何が問題となっているかを明らかにして、整理する必要がある。これは、基礎研究で得られた基礎データを応用分野の実設計に活かすためにも重要である。その際、照明にこだわらず、視覚特性に関するあらゆる情報を対象とし、高齢者の利用する機器や実生活上の問題や課題を調査・分析する事が望まれる。これによって初めて、具体的な解決策や今後必要な対策・研究内容を見い出していけると考える。

問題が整理された次には、それぞれに対応した具体的な対策が立てられることが望まれる。それと同時に、照明設計者や製品デザイナーが実際に照明設計や商品デザインに活用できる情報が、わかりやすく提供されることが重要である。（例、1,000lxの照度下での必要文字フォントとサイズの視力別一覧表など）また、視環境改善には、照明だけで対応するよりも、オブジェクトベース（照明に照らされている側）で考えると、問題を効率良く解決できる場合がある。（例、視環境において高い照度が確保できない場合、視対象の文字を大きくして、比較的暗い環境でも不都合なく視作業ができる状況を作る。など）。

照明設計者や製品デザイナーが実際に活用できる情報を提供することは、より身近な応用の現場で生じる視環境の問題を一つずつ解決していく助けともなる。また、既往の高齢者研究の目的や実験手法・実験環境などを整理することは、今後の高齢者研究に混乱を生じさせず、更なる活性化を進めるためにも必要なことである。

当委員会で紹介された報告には、照明に関することはもちろん、照明以外にも、高齢者のために改善すべき要素が多数挙げられた。これらをレビューしてみると、視認性（特に低照度における場合）、色覚（特に弁別に関するもの）、グレア（特に高照度における場合）についてさらなる検討が必要があることがわかった。

本節では、応用問題分科会で検討された「視認性」、「色覚」、「グレア」の3つのトピックスごとに、調査された内容と、応用現場における現状および予想される問題点や改善提案を報告する。

（高橋好正）

### 7.1.1 高齢者の視認性と視環境設計

ここでは、加齢と視認性との関連を扱った研究に関する現在の動向を述べ、高齢者との共生を配慮した視環境設計をしていくためには、今後どのような研究が必要であるのかという将来展望を著者なりに述べてみたい。

ここで言う視認性とは、対象とするものに対して「見えるか見えないか」、または「見えやすいか見えにくいか」と表現されるものであり、JISの照明用語<sup>1)</sup>の中でも、「対象物の存在、又は、形状の見やすさの程度」と定義されているものである。よって、視認性とは、文字の読みやすさを示す可読性や、目立ちに関連する誘目性などにつながる基本的なレベルの視覚の現象を示すものであり、照明設計において把握しておかなければならない重要な特性であると言える。そして、この視認性の決定要因となるのが対象物と背景との輝度差であり、この輝度差が視覚の弁別閾以上の差であれば、その対象物は視認されることになる。すなわち、弁別閾の加齢効果を把握することができれば、視認性の加齢に伴う変化を予測することが可能となり、必要な視認性を確保できる照明設計をすることができる。

以上に述べた弁別閾の加齢効果を扱ったものの一つには、第6章の6.1.2節に述べた輝度差弁別閾の加齢効果のシミュレーションを挙げることができる<sup>2)</sup>。そして、6.1.2節では、その輝度差弁別閾の加齢効果シミュレーションにより、文章を読むのに必要な照度の加齢による変化を説明できることが示され、加齢に伴う視認性や可読性の変化を評価する上で、弁別閾を定量的に扱うことの有効性が示されている。

これに関連する研究としては、我が国の通常の視力検査に用いられるランドルト環指標に対する弁別閾、すなわち、視力に基づき読書作業に必要な照明方法を検討したInoueらの報告がある<sup>3)</sup>。Inoueらは、観察者の個々の視力A(800[lx]で照射されたランドルト環指標に対する近点視力)が、対象とするサイズの文字を読むために必要な閾レベルでの視力 $A_0$ に対してどの程度大きいのかということを示す相対視力 $RA (=A/A_0)$ で、観察者各々で異なる読書作業時の文字の読みやすさを説明できることを明らかにした。ここでの視力 $A_0$ の値は、文字高さS[min]の文字に対して $A_0 = 10/S$ で算出されるものである。Inoueらが、以上の研究により提案した読書作業時に必要な輝度の算出法を、Inoueらの作成した図7-1を用いて以下に述べる(図中の矢印に従う)。ここでは、算出方法の一例として、文字サイズ14ポイント、視距離50[cm]、観察者の近点視力が0.9(実験では平均70才の高齢者の平均視力が0.9であった)、要求される読みやすさ(「普通に読める」以上と感じる観察者の割合で定義)が70%、そして、文字の輝度対比が0.82(新聞紙相当)とした条件での、必要輝度を求めている。

- 1) 図7-1(1)を用いて、文字サイズ14ポイント、視距離50[cm]とから、文字の視角サイズ34[min]を得る。
- 2) 文字の視角サイズ34[min]と近点視力0.9とから、図7-1(2)を用いて、相対視力3.0を得る。
- 3) 相対視力3.0より、図7-1(3)の等読みやすさ70%曲線から、輝度対比0.93の文字を読むのに必要な輝度 $L_0=100[\text{cd}/\text{m}^2]$ を読みとる。
- 4) 図7-1(4)を用いて、輝度対比0.93の文字を読むのに必要な輝度100[cd/m<sup>2</sup>]から、

対象とする輝度対比 0.82 の文字を読むのに必要な輝度 170 [cd/m<sup>2</sup>] を算出する。

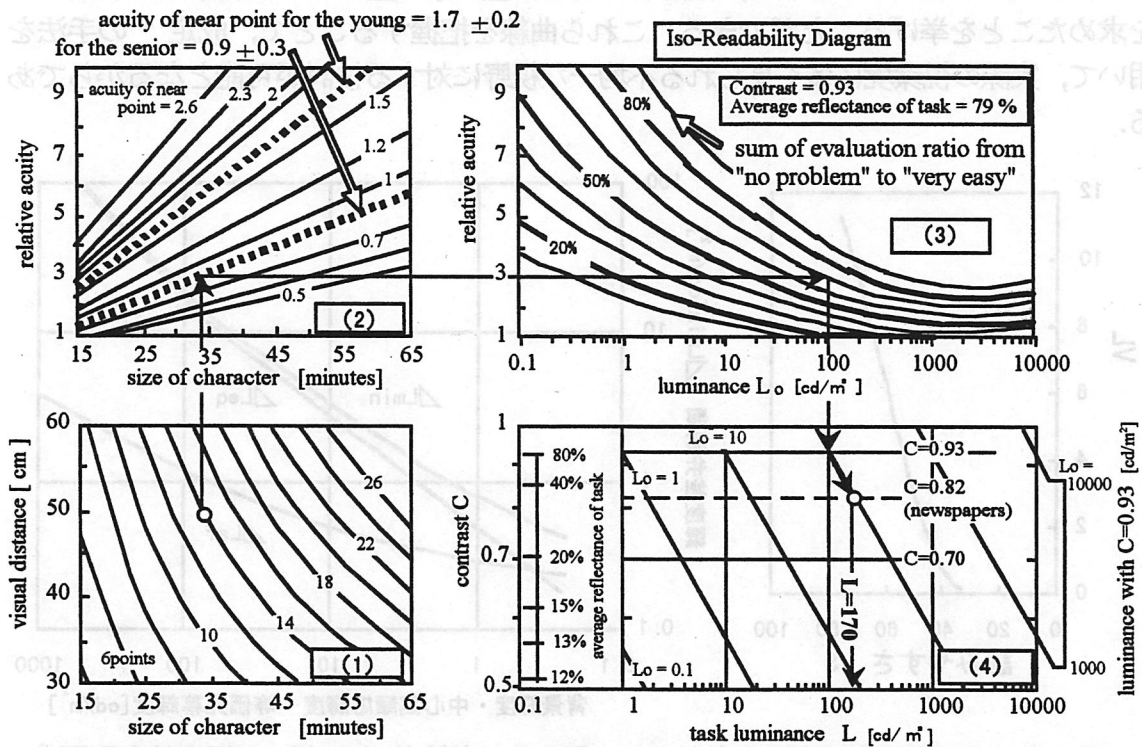


図 7-1 Inoue ら<sup>3)</sup> が提案した文字を読むのに必要な輝度の算出法

すなわち、Inoue らの研究は、加齢に伴い文字の読みやすさが低下するのは、加齢に伴い視力が低下するためであり、観察者の視力、すなわち弁別閾が把握できれば、年齢によらず、読書作業等の視作業に必要な視認性を得るための輝度や照度を明らかにできるということを示したと言える。

また、田辺ら<sup>4)</sup>は、青年を対象とした JIS の照度基準値と、CIE publication No. 19/2. 1 で定義された Visibility Level (6 章の式 6-5 を参照) との関係から、高齢者に必要とされる照度について検討をした。その結果、JIS の推奨照度に対応する文字の読みやすさと Visibility Level との間には図 7-2 に示すように一定の相関があり、Visibility Level は文字の読みやすさに対応した所要照度を検討する手段として有用であることを明らかにした。

また、Visibility Level の基本データである「輝度対比弁別閾 Cth」を「輝度差弁別閾  $\Delta L_{min}$ 」に変換し、かつ、輝度差弁別閾  $\Delta L_{min}$  を、等価光幕輝度による輝度差弁別閾  $\Delta L_{eq}$  と、中心窩順応輝度  $\Delta L_{af}$  とに分離し、図 7-3 に示すように  $\Delta L_{eq}$  と  $\Delta L_{af}$  に対してそれぞれ加齢補正した後、それらを加算して得た輝度差弁別閾  $\Delta L_{min}^*$  をもとにして照度と Visibility Level の関係を求めた。その結果、ほぼ実態に合う照度と Visibility Level との関係、すなわち照度と文字の読みやすさの関係が得られ、高齢者が 3mm の文字を普通に読むために必要な照度は 700lx であることを明らかにした。

以上の結果から、Visibility Level の概念は、加齢による影響も考慮した上で、文

字の見え方などを定量的に評価できる解析手法であるということを示した。また、ここで注目したいことの一つとして、高齢者に対する $\Delta L_{eq}$ と $\Delta L_{af}$ の2種類の弁別閾曲線を求めたことを挙げる事ができる。これら曲線を把握することで、成定<sup>5)</sup>の手法を用いて、実際の視環境に多く見られる不均一な視野に対する検討が可能となるからである。

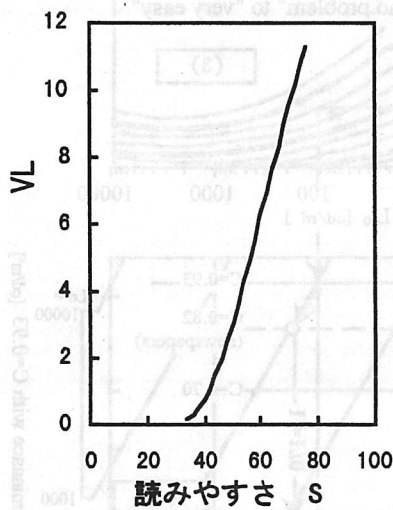


図 7-2 JIS の文字の読みやすさ S と VL との関係<sup>4)</sup>

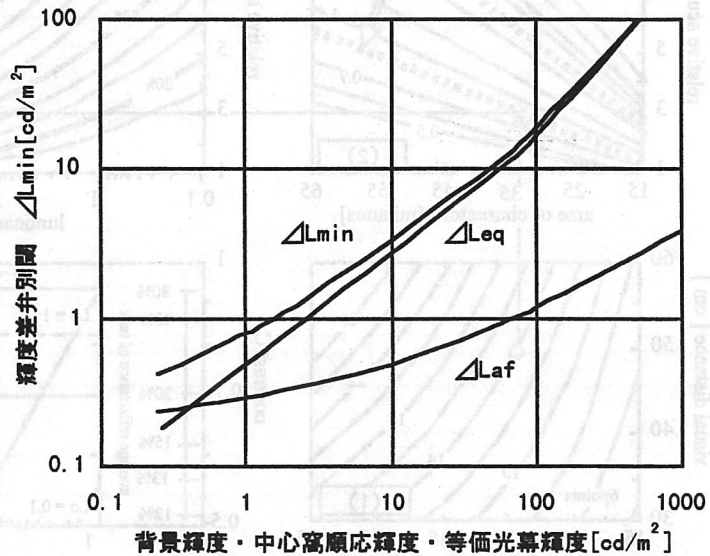


図 7-3 高齢者 (70 才) の輝度差弁別閾<sup>4)</sup>

以上述べてきた3研究の結論はいずれも、視認性の加齢効果は、加齢に伴う弁別閾の変化で説明できることを示したと言える。しかし、これらの研究で検討している弁別閾は、ランドルト環指標に代表される視対象と背景間に高空間周波数成分のエッジが存在する指標を視対象とした実験により得られたものである。よって、これら研究を、読書作業のような詳細で高空間周波数成分の情報を必要とする視作業に対して適用することはできるが、高空間周波数領域の情報を必要としない行為にそのまま適用することはできない。実際に第5章で述べた実験結果と第6章での実験結果に対する分析は、廊下の歩行などのように、2[cpd]以下の低空間周波数の情報でも問題ないという行為に対する所要照度を、以上述べてきた研究成果からは説明できないことを示していた。照明設計においてはまず安全性の確保が最優先されなければならないことから、従来の高空間周波数領域の情報を扱った研究がまず重要視され優先される必要があると思うが、今後より広範囲な視作業や行為に対応した視認性評価方法（低空間周波数領域の情報に対する見えに対して「視認性」という言葉を当てはめても良いのかどうかという議論は別途必要であると思う）を確立していくためには、空間周波数特性の加齢効果を把握していくことが必要であると言えよう。加齢と空間周波数との関係は行田ら<sup>6)</sup>やSekulerら<sup>7)</sup>の研究においても実験的に明らかにされているが、その特性はある限定された観察条件に対して得られたものである。従って、第6章で述べられている実験で平均70才の高齢者と若年者に対し得られた、1から1000[lx]レベルの広範囲の順応輝度に対する空間

周波数特性のデータは、様々な視作業に対する視認性の加齢変化を評価する上で非常に有用なデータであると言える。さらに他の年齢層に対して同様のデータがあれば、視認性の加齢変化に対する詳細な検討も可能となるし、時間周波数特性に対するデータがあれば、より短時間の条件での視認性が要求される道路上の落下物の視認性<sup>5)</sup>等の検討も可能となる。今後の研究の発展に期待をしたい。

(岩井 彌)

#### 参考文献

- 1) 照明用語, JIS Z8113-1988
- 2) 岩井 彌: 加齢の影響を加味した視認性評価方法 一年齢別等視力曲線の作成一, 照学誌, 82(11), pp. 921-925 (1998)
- 3) Inoue, Y. and Akizuki, Y. : The Optimal Illuminance for Reading : Effects of Age and Visual Acuity on Legibility and Brightness, J. Light & Vis. Env., 22(1), pp. 23-33 (1998)
- 4) 田辺吉徳, 大竹史郎: 高齢者の文字の読みやすさと所要照度に関する Visibility Level からの検討, 照学誌, 83(5) (1999)
- 5) Narisada, K. : Perception in complex fields under road lighting conditions, Light. Res. Technol., 27(3), pp. 123-131 (1995)
- 6) 行田尚義, 大頭 仁: 視覚神経系と視覚特性の年齢による変化, 照学誌, 72(10), pp. 608-612 (1988)
- 7) Sekuler, R., Owsley, C. and Hutman, L. : Assessing Spatial Vision of Older People, American Journal of Optometry & Physiological Optics, 59(12), pp. 961-968 (1982)

### 7.1.2 高齢者の色覚特性と視環境設計

高齢者の色覚問題を定量的に取り扱うためには、年齢効果以外にも、

1. 輝度・照度レベル（錐体・杆体等）
2. 色の種類（色相+彩度）とその組み合わせ
3. 順応・恒常性
4. 空間的条件（サイズ、配置等）
5. 時間的条件（提示時間、点滅）

等、考慮すべき（実験）パラメータが多く、そのため研究も困難である。それでも、これまでの様々な実験的研究によって、高齢者の色覚特性が明らかになりつつある。色覚にも、様々なレベル（機能・段階）が存在し、大きく次の3つのレベルに分けることができると考えられる。

1. 色弁別
2. 色の見え（反対色応答レベル）
3. 色認識・同定（色名、カテゴリカル、記憶…）

各レベルは、ある程度独立に議論することが可能である。以下に各レベル毎に順を追って、これまでの研究結果から分かったことについて総括し、最後に応用を見据えた総合的考察を行うことにする。

まず、「色弁別」だが、これは色を識別することであり、色弁別能とはその識別能力のことを意味する。弁別できる「色の違い」の大きさで、その感度を表すことができる。物体色における色弁別能を調べる際によく用いられているのが、100HUE テストである。例えば、Knoblauchら<sup>1)</sup>の実験結果を見ると、70-79歳で照度が低くなるにつれ、エラーが増大し、特に黄青方向の誤差が大きくなることが分かる。これは、第3色覚異常に似た傾向を有しており、高齢者には青や黄色の色弁別能が相対的に低下することを示唆している。篠森<sup>2)</sup>によると、高齢者の色弁別能の低下は、神経系のノイズレベルの増大及び錐体感度の低下が原因であることが示唆されている。また、20-29歳では57(1x)まで照度が低下しても1800(1x)時とほとんど変わらない程の優れた色弁別能を有しているが、加齢とともにエラースコアが増大し、70-79歳では1800(1x)でも20-29歳の18(1x)或いは5.7(1x)における色弁別能しかないことを示している。以上のことから、70歳代の人が20歳代の人と同じ色弁別能を発揮するためには、100倍以上の照度が必要になることを示唆している。しかし、どの程度の「色差量」が実際生活上に必要なのかについては、これまでまとまった議論がなされていないため、この「100倍」が本当に合理的な数値であるかは疑問である。すなわち、100HUEテストに必要な色弁別能（精度）が生活場面でも必要であるのか、逆に言えば100HUEテストが応用的に高齢者の色弁別特性を測定する方法として適当なのか否かを検討する必要があると思われる。また、100HUEテストはかなり根気がいる難しいタスクのため、視覚特性だけではなく、被験者のパフォーマンス（気力、根気等）も影響している可能性がある。しかしながら、各年齢でどの程度の色弁別能を有しているのかを示すKnoblauchら<sup>1)</sup>の実験結果は、特に

細かい色弁別を要する場面においてどの程度の照度が必要なのかを各年齢層毎に求める等の応用の際、非常に貴重なデータを提供していると言える。

また、色弁別特性には「(等輝度)色差」特性と「輝度差(明るさ差)」特性の両方が含まれているが、応用の際には両特性とも重要であると同時に、両者を分けて考える必要があることもここに強調しておきたい。例えば、色差があっても輝度差が小さいと見分けにくくなるし、色差が小さくても輝度差があれば見分けやすいことも多い。水晶体の加齢変化によって、高齢者の青色の(実効)輝度は赤や緑等に比べて相対的に低下する。したがって、少し輝度が高い青と少し輝度が低い赤の配色は、高齢者にとって輝度差がなくなり、非常に見えにくくなることが予想される。

次に「色の見え」であるが、間接的には色認識に関連し、配色や照明の改善方法を考える上でとても重要な色覚特性である。Scheffrinら<sup>3)</sup>によると、高齢者の色の見えは、若年者に比べて、特に低照度で若干彩度が低下するが、大きく違わないことが実験的に示されている。これは、水晶体の加齢効果による網膜に届く光の分光特性の変化が補償されていることを意味しており、これは色順応だけでは説明できない<sup>4)</sup>ことから、加齢による色知覚メカニズムの変化(錐体&反対色系の加齢変化)の存在が示唆される。色相の変化は見られないが、彩度の低下が生じることから、高齢者には彩度の低い色はあまり使わない方が無難であろう。特に、低照度における彩度の変化によるパターン等は見えにくくなることが予想される。このような彩度の低下が何故生じるのかについては、眼球内の光散乱や反対色チャンネルのゲイン減少が原因として考えられるが、今のところはっきり分かっていない。

次に色覚の高次レベルである「色認識・同定」についてであるが、これは色名、特に基本色のカテゴリカルカラーネーミングによる実験結果で調べることができる。先のScheffrinらは、基本色の領域が高齢者でも若年者とほぼ同じであることを示した。岡嶋ら<sup>5)</sup>は、水晶体のTwo-factorモデルから計算された80歳の水晶体透過率から20歳の水晶体透過率を割った分光透過率を持つ理論的に根拠のある水晶体擬似フィルタを作成し、20歳の被験者に30分間かけさせた後に基本色のカテゴリカルカラーネーミングを500(1x)照明下でマンセル色票を使って行なった結果、フィルタを装着していない時のカラーネーミングの結果とほぼ同様な結果が得られることを示した。以上の結果は、実際の高齢者の内観とも一致した合理的な結果であり、「高齢者は青が見えない」等の結論を導く、理論的に不適當な黄色フィルタを用いた視覚特性の効果を全く考慮しない誤った視覚シミュレーション<sup>6)</sup>の問題点を指摘するものである。しかしながら、理論的に根拠のある黄色フィルタを用いた実験結果からも、多少彩度が低くなる傾向や、青い色票で灰色の応答が多くなることが示されていることから、今後も理論的に正しいフィルタ等を用いて、高齢者の色認識特性が若年者とどのように異なるのかを、さらに詳細に調べる必要があるものと思われる。また、「色の記憶」や「記憶色」と関連する、より高次の色認識の加齢変化については、今後の研究を待つしかないのが現状である。

以上のことをまとめると、

- 1 照度（輝度）が低下すると、色弁別能は大幅に低下する。特に、黄色青色の色弁別能が低下する。
- 2 1.の色弁別能低下は、年齢に伴い、高い照度（輝度）で生じるようになる。
- 3 高齢者は、若年者よりも彩度を低く評価する、すなわち「白っぽく」見えている可能性がある。
- 4 色弁別能低下も彩度低下も、眼光学系だけではなく、錐体 and/or 神経系の加齢変化が原因。
- 5 色認識レベルにおいては、高齢者も若年者と大きな違いは見られない。

となる。

以上のことから、次のような提案（仮説）が可能である。

- 1 色情報が重要となる環境の場合、ある照度以下は用いないようにし、できるだけ高照度にする。
- 2 低い照度にする場合は、色情報以外の情報（文字等）を付加する。
- 3 高齢者の網膜輝度の変化は、色によって異なるため、輝度差にも注意して配色する必要がある。（青色は赤色に比べて実効輝度の低下が大きいいため、特に（青の輝度） > （赤の輝度）の隣接関係の場合に注意！）
- 4 用いる色はできるだけ高彩度&高明度にした方が、低照度での彩度低下の影響が小さい。
- 5 波長に対する相対的明るさが補償されているだけで、絶対的明るさは低下していることに注意する必要がある。（眼光学系の加齢効果から推定される網膜照度低下による明るさの減少を考慮する必要がある）

いずれにしても、高齢者の色覚問題を検討するためには、基礎サイド（基礎実験、理論、シミュレーション）と応用サイド（応用実験、現場の実態、応用の現実性）からの挟み込みが必要不可欠であり、両サイドを考慮した今後のさらなる研究が期待される。また、理論的に根拠のある「黄色フィルタ」は、基礎と応用の橋渡しをするとともに、両サイドを考慮した研究活動を推進する上で、有効な実験ツールとなることであろう。

（岡嶋克典）

## 参考文献

- (1) K. Knoblauch et al.: "Age and illuminance effects in the Farnsworth-Munsell 100-hue test," *Applied Optics*, 26-8, pp. 1441-1448 (1987)
- (2) 篠森: 「高齢化と色の見え—加齢による色覚の変化—」, カラーフォーラム JAPAN 講演論文集, pp. 89-96 (1997).
- (3) B. E. Scheffrin et al.: "Age-Related Changes in the Color Appearance of Broadband Surfaces," *Color Res. Appl.*, 18-6, pp. 380-389 (1993)
- (4) 岡嶋, 山下, 高瀬: 「色覚の年齢変化—水晶体加齢効果シミュレーションと色順応実験」, *日本色彩学会誌*, 22, Suppl., pp. 16-17 (1998)
- (5) 岡嶋克典: 「高齢者の色の見えと照明効率」, カラーフォーラム JAPAN 講演論文集, pp. 37-44 (1998).
- (6) 岡嶋, 高瀬, 吉田, 氏原「水晶体加齢モデルに基づく高齢者水晶体擬似フィルタの作製と色覚加齢変化の合理的検討」, *日本色彩学会誌*, 23-Suppl., (1999)
- (7) 岡嶋, 高瀬, 吉田, 氏原「高齢者水晶体擬似フィルタの作製と色の見えの変化」, 平成11年度照明学会全国大会講演論文集, (1999)
- (8) 吉田, 桜庭: 「高齢者の色覚—視界黄変化の実態とシミュレーション—」, カラーフォーラム JAPAN 講演論文集, pp. 79-86 (1996)
- (9) C. A. Ako and S. Sakuraba: "The Use of Films to Simulate Age-Related Declines in Yellow Vision", *J. of Occupational Rehabilitation*, 6, pp. 119-134 (1996).

### 7.1.3 高齢者のグレア特性と視環境設計

高齢者はグレア（まぶしさ）を感じやすいと言われる。その原因は加齢により眼光学系の混濁や神経系の機能低下が生じるためと考えられている<sup>1),2)</sup>。Fortuinら<sup>3)</sup>により、高齢者の視覚特性は、若年者に比べてまぶしさを感じやすくなることが明らかにされている。しかし、その一方で、高齢者は若年者よりグレアを感じにくいという実験結果も報告されている<sup>4)</sup>。

グレアと一言で言っても、その種類は大きく2つに分けられる。輝度を少しずつ増していくと、あるところで「まぶしくて不快」と感じる。さらにこの域より輝度を増すと「まぶしくて物が見えない」という段階になる。前者が、不快グレア（Discomfort glare），後者が減能グレア（Disability glare）である<sup>5)</sup>。近年において通常問題とされるのは不快グレアであろう。照明学会編集のライティングハンドブック<sup>6)</sup>によると、不快グレアが生じる条件としては、

- ①光源の輝度がある程度以上高い場合
- ②周囲が暗く、目が暗さに慣れている場合
- ③グレア源（例えばランプ）の位置が視線に近い場合
- ④グレア源の見かけの大きさが大きい場合、数が多い場合

などが挙げられる。また、不快グレアに関してはLuckieshら<sup>7)</sup>やPutnamら<sup>8)</sup>の研究によって、光源の輝度およびその背景輝度、光源の位置、光源の大きさなどが不快グレアの要因になることが明らかにされている。

このようなグレアの程度を定量的に評価する方法（主に蛍光灯照明器具を対象にしている）が開発されてきた。例えば、アメリカのVCP法、英国のグレアインデックス法、西ドイツの輝度曲線法などである。しかし、各国で考案、使用されてきた評価方法はそれぞれ評価公式が異なるため、評価方法を世界的に統一しようとする動きがあった。CIEでは、不快グレアの評価指標として、屋外用のGR (Glare Rating)<sup>9)</sup>、屋内用のUGR (Unified Glare Rating)<sup>10)</sup>が提唱されている。特にUGRは世界共通の屋内グレア評価指標とするために、1999年6月のCIEワルシャワ大会において、CIE/ISO標準として提案される予定である。ただし、ここで挙げた不快グレア評価方法には、どれも年齢のパラメータが含まれていない。高齢者に対するグレア評価方法の整備はまだこれからであり、GRやUGRにおいても高齢者を考慮した検討が望まれる。

では、具体的にグレアをおさえた照明環境とはどのようなものであるかを考えたい。グレアが生じる一番の条件はグレア源の輝度が高い場合である。例えば、輝度の高い窓面、CRTや光沢のある紙面に映り込んだランプや器具の反射もグレア源となり得る。照明によって生じるグレアをおさえるには、光源もしくは反射板の輝度レベルを高くしないことが重要である。グレアを抑えるために、これまで一般的に取られてきた方法は、光源を直接見せないようにする方法である。例えば、ルーバーやカバーをつける、高輝

度光源が直接視野に入らない位置に設置する、などである。しかし、ルーバーなどを取り付けると器具効率が落ち、つまり明るさが確保できなくなることや、場所によっては、直接視野に入る位置に光源を設置せざるをえない場合が出てくる。では、どのくらいの輝度からグレアを感じるのかを明らかにしていけば良いことになる。

許容輝度レベルに関する研究はいくつかある。

Bennett らによると、光源に白熱電球を用いた実験から、BCD輝度 (Borderline between Comfort and Discomfort)  $BCD[cd/m^2] = \frac{85650}{\text{年齢(歳)}} \dots$  式1

7) は年齢に影響されることを実験式で示した (式1) <sup>11)</sup>。これは、加齢により許容輝度が低くなることを意味し、つまり、加齢が進むにつれて低い輝度でもまぶしさを感じてしまうことを示している。一方、グレアの感じ方はグレア源の色温度にも影響されることはよく知られており、光源の色温度の影響がまぶしさにどう関与しているかを調べた実験も行われている。矢野ら <sup>12)</sup> によると、高齢者に対する不快グレアの許容限界輝度は若齢者に比べて約54%の低い輝度であること (図7-4)、年齢によらず相関色温度の高い光源ほど不快グレアを感じやすいことを明らかにしている。さらに、Wake ら <sup>13)</sup> による住宅の階段における照明光源の許容輝度の実験では、順応照度と光源輝度の関係が明らかにされている。許容輝度は、年齢に加えて、器具の位置にも影響を受ける。3種類の光源位置の平均データで (図7-5) で、順応照度1 [lx] の場合、許容できる光源輝度は20歳代で800 [cd/m<sup>2</sup>] に対して60歳代、70歳代で400 [cd/m<sup>2</sup>]、順応照度200 [lx] の場合、許容できる光源輝度は20歳代で1300 [cd/m<sup>2</sup>] に対して60歳代、70歳代で600 [cd/m<sup>2</sup>] としている。

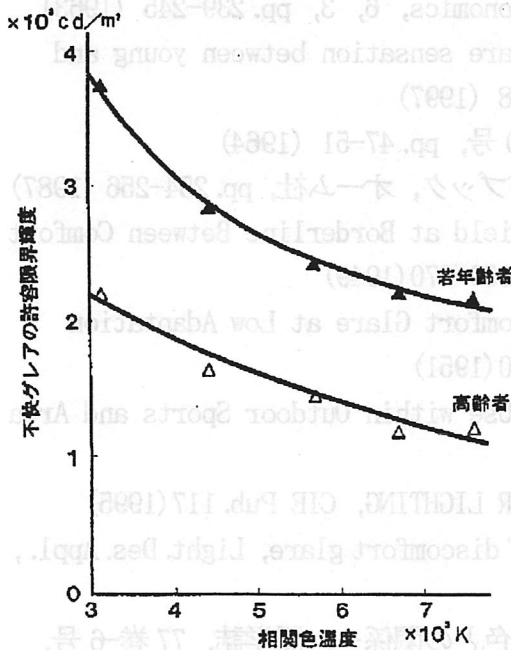


図7-4 光源の相関色温度と不快グレアの許容限界輝度との関係 <sup>12)</sup>

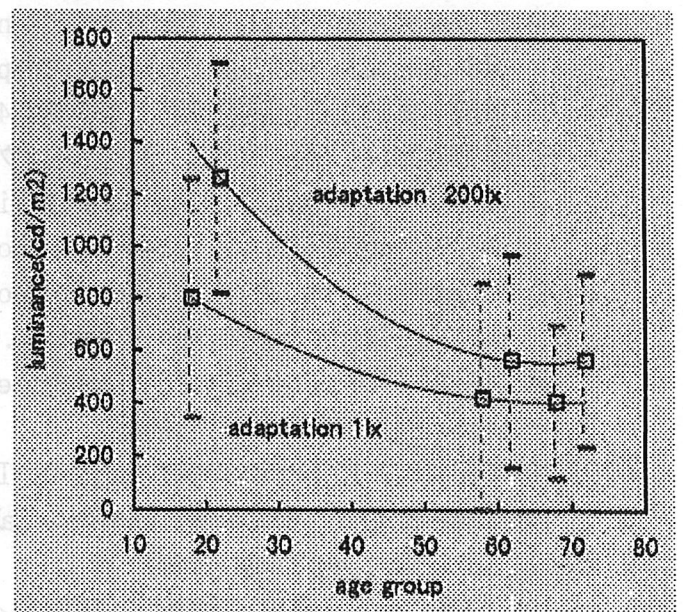


図7-5 Average glare-free luminance <sup>13)</sup>

以上をまとめると、

- 1 高齢者は若年者よりも不快グレアを感じやすい。ただし、反対の実験結果もある。
- 2 加齢につれて、まぶしさを許容できる輝度が低くなる。
- 3 高齢者も若年者も相関色温度の高い光源ほど不快グレアを感じやすい。
- 4 許容限界輝度は順応照度（輝度）レベルに影響を受ける。順応レベルが高いほど、許容輝度も高くなる。
- 5 グレアの程度は視野の中のグレア源の位置に影響を受ける。

ということが言えるであろう。以上のことから、次のような提案（仮説）が可能である。

- 1 視野内に輝度の高い照明器具や露出したランプは設置しない。
- 2 視野にグレア源が入る場合は、できるだけ輝度の低いものを選ぶ。
- 3 順応照度（輝度）を上げることでグレアを軽減できる可能性がある。

過去の研究成果にも高齢者とグレアに関する基礎データはいくつかある。今後も高齢者のグレアの問題を検討するには、高齢者を被験者とした応用サイド（応用実験、現場の実態、応用の現実性）の研究事例がより多く研究・報告されることに期待したい。

（高橋好正）

#### 参考文献

- 1) 市川：高齢者の目，照学誌，79巻-7号，pp.45-46（1995）
- 2) 金谷，宮前：高齢化社会と視環境，人間工学，Vol.25 No.3，pp.163-167（1989）
- 3) Fortuin, G. J. : Age and lighting needs, Ergonomics, 6, 3, pp.239-245（1963）
- 4) E. Mochizuki et al. : The comparison of glare sensation between young and old people, Proc. Lux Pacifica'97, pp. A83-88（1997）
- 5) 黒沢：まぶしさと照明設計，照学誌，48巻-10号，pp.47-51（1964）
- 6) 照明学会：11.3.4 グレア，ライティングハンドブック，オーム社，pp.254-256（1987）
- 7) Luckiesh, M et al. : Brightness in Visual Field at Borderline Between Comfort and Discomfort (BCD), Illum. Engng. Nov., pp. 650-670（1949）
- 8) Putnam, R. C. et al. : The Threshold of Discomfort Glare at Low Adaptation Levels, Illum. Engng., 46-10, Oct., pp. 505-510（1951）
- 9) CIE TC 5-04 : Glare Evaluation System for Use within Outdoor Sports and Area Lighting, CIE Pub. 112（1994）
- 10) CIE TC 3-13 : DISCOMFORT GLARE IN INTERIOR LIGHTING, CIE Pub. 117（1995）
- 11) Bennett, C. A. : The demographic variables of discomfort glare, Light. Des. Appl., Vol.17, No. 1, pp. 22-24（1977）
- 12) 矢野，金谷，市川：高齢者の不快グレア—光色との関係—，照学誌，77巻-6号，pp.24-31（1993）
- 13) T. Wake et al. : AGING EFFECT OF VISIBILITY AND GLARE PERCEPTION IN ILLUMINATED STEPS IN HOUSES, Proc. Lux Pacifica'97, pp. A95-100（1997）

## 7.2 応用現場における現状と課題

### 7.2.1 住宅照明の現状と課題

高齢者にも十分配慮した生活環境がより重視されている。加齢によって視覚に関する様々な生理、機能低下が避けられない以上、それを居住環境の向上、改善によって補償する考え方が必要になる。照明は居住環境を構成する一要素であり、生活にはかけがえない存在である。特に若年者に比べて視覚機能が低下する傾向のある高齢者に対しては、生活に不都合が生じない照明環境が望まれる。

ここで、高齢者にとっての照明環境の問題を、実際に利用するユーザーとそれをつくる設計者の立場から述べる。共通の問題は「明るさ」を如何に確保するかである。

まず、高齢者自身が感じている問題点は何か？。1996年に行った住宅照明に対する意識調査<sup>1)</sup>では、器具やランプなどのメンテナンスや使い勝手など、照明ハードに対する問題が多数を占める一方で、「暗くて困っている場所がある」といった照明ソフトの問題があることが確認された。図7-6に示すように、アンケート回答者の4人に1人が部屋の「明るさ」が足りなくて困っていると指摘した。場所としては、階段、廊下、居間、浴室、食堂などがあげられている。

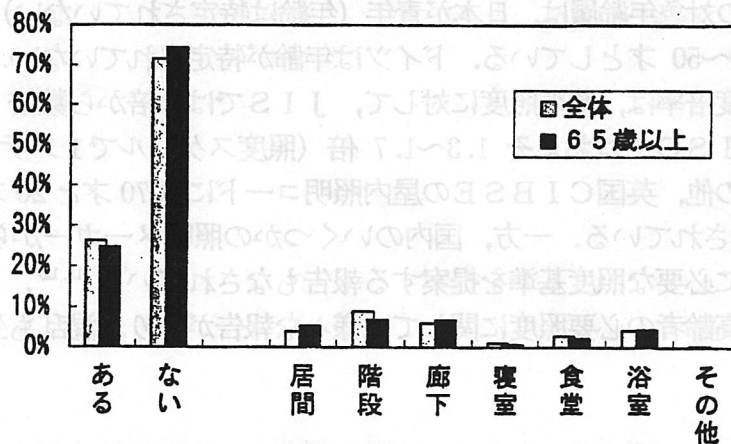


図7-6 照明に関する問題の有無に対する質問結果<sup>1)</sup>

(室内で困っている場所があるか、その場所はどこか)

一方、照明環境の設計者たちにとっての疑問やユーザーからの問い合わせは次のようなものである。“照度”：設定すべき照度レベルは？，“グレア”：どのくらいの輝度からまぶしさを感じるのか？，“色認識”：見えにくい色は？，選ぶべき光源は？，“光色”：白内障や緑内障の人に適した光色は？，“順応”：空間別の照度差はどのくらいまで許容できるか？，“目の疲労”：疲れにくい環境にするにはどうすべきか？，などである。現状の対策としては、通常より高照度が確保できる器具を用いる（高照度確保），光源が直接見えないような器具や取り付け位置を選ぶ（グレアの抑制），演色性の高いランプを使う（色視認対策），部屋全体を明るくして照度（輝度）差が極端にならないようにする（疲労対策），などを行っている。

次に、高齢者に配慮した照度レベルについて既往研究と現在の照度基準を紹介する。

高齢者の必要照度に関する研究には、年齢別の視力をもとにして、若齢者を基準にした高齢者の必要照度倍率を報告したものがいくつかある<sup>2)</sup>。しかし、その倍率の数値は様々である。例えば新聞を読むなどの近距離視力0.6を得るには3倍の照度、0.8~1.0を得るには4~9倍の照度が必要としている<sup>3)</sup>。また、同じ近距離視力でも読書では3倍の照度、コンサイス辞典のような小さな文字では8~9倍としている<sup>4)</sup>。その他、読書や細かい作業には2~4倍とする報告もある<sup>5)</sup>。また、視距離5mの視力を用いた研究では、20才を基準に、40才は2倍、50才は4倍、60才は10倍とした報告もある<sup>6)</sup>。これ以外にも、1m視力において閾値に近い照明条件では高齢者に必要な背景輝度は若齢者の場合の十数倍になるという報告もある<sup>7)</sup>。このような既往研究を受けて、高齢者に必要な照度倍率は様々に語られる。既往研究では、それぞれの実験条件(視距離、視対象、順応状態、被験者年齢、など)が明確に区別されているが、「高齢者に必要な照度は何倍か?」との問いには、しばしば必要照度の倍率だけが一人歩きするのが現状である。

また、照明設計のよりどころである照度基準も、基準策定の基礎となっている研究の違いから、国によって照度基準の対象年齢層や高齢者に対する推奨倍率が異なっている。例えば、基準の対象年齢層は、日本が青年(年齢は特定されていない)、米国が40~55才、英国が40~50才としている。ドイツは年齢が特定されていない。また、高齢者に対する推奨照度倍率は、基準照度に対して、JISでは2倍から数倍<sup>8)</sup>、米国では1.5倍、CIE/ISOではおよそ1.3~1.7倍(照度スケールで1ステップアップ)<sup>9)</sup>としている。その他、英国CIBSEの屋内照明コードには70才と20才の必要照度倍率は3倍<sup>10)</sup>と記されている。一方、国内のいくつかの照明メーカーからは既往研究を検討して高齢者に必要な照度基準を提案する報告もなされている<sup>11),12)</sup>。

このように高齢者の必要照度に関しては様々な報告があり、混乱も生じていると考えられる。

では、高齢者が不都合なく生活できる照明環境を実現するにはどうすればよいか?。それには、照明ソフトの問題を解決していくと同時に、設備などの照明ハードの充実も必要になる<sup>13),14)</sup>。ただし、設備コストを無視することはできない。作業照明として確保すべき照度は補助照明を用いて対応できる。このことはJIS照度基準にも明記されている。例えば高齢者が読書する場合の推奨照度を基準値の2倍にするということは、部屋全体の照度を2倍にすることではない。作業や行為が生じる一部の環境の照度を補助照明で確保すれば良いのである。この意味では照明メーカーもユーザーに照明器具等の使い方を積極的に提案して、ユーザー自身の工夫も喚起することが必要であろう。

高齢者ユーザーや設計者が感じている問題および、現在の照度基準の高齢者への推奨値について考えてきた。これまでに蓄積されてきた多くの研究成果をもう一度整理し、より高齢者の生活環境にあった照明提案がなされるべきである。

(高橋好正)

## 参考文献

- 1) 澁田ほか：高齢者に対する照明の調査と提案，照学誌，80，12，pp.920-924 (1996)
- 2) 照明学会：新時代における照明の調査研究報告書 昭和59年3月
- 3) 照明学会：省エネルギー照明の適正化の調査委員会報告書，pp.34-42，昭和58年
- 4) 建材試験センター：住宅性能標準化のための調査研究報告書，pp.37-44，昭和53年
- 5) 照明学会：高齢化社会における照明の研究調査委員会報告書，昭和62年
- 6) G. J. Fortuin : Philips res, Rep, vol. 6, pp. 251-287, pp347-371 (1951)
- 7) 岩田ほか：40185 高齢者のための視環境設計に関する基礎的研究，建学全大 (1995)
- 8) JIS Z9110-1979：照度基準，p.18 (1979)
- 9) CIE/ISO：Interior Lighting Standard (LIGHTING OF INDOOR WORK PLACES 3<sup>rd</sup> DRAFT), p.6 (1996)
- 10) CIBSE：Code for interior lighting 1994, p.28 (1994)
- 11) 高橋ほか：高齢者と推奨照度，照学誌，80-7，pp.16-20 (1996)
- 12) 横田：高齢者の為の住空間に於ける推奨照度，照学誌 79-7, pp. 36-39 (1995)
- 13) 澁田ほか：高齢者と照明，照学誌，81-8B, pp.11-14 (1997)
- 14) 金谷：高齢化と照明，電設学誌，17-3，pp.10-15 (1997)

## 7.2.2 色情報の活用の効果と課題

今日、都市の生活環境は複雑化が進行し、人々が操作する機器は高度なものになっている。そこに溢れる多様な情報を整理し、適宜選択することなくして、安全に行動することもままならない。そして、そのような情報を整理する手段として色が活用されている。すなわち、色という属性を様々な要素に付加することによって、それらを分類したり、ある要素を特定したり、ある種の意味を担わせるといったことが行われている。交通信号、案内標識、商業広告、色によるラベリング、領域区分、操作スイッチやディスプレイ、配管や配線の色分けなど、いたるところで色による符号化が利用されている。ここでは、このような目的で活用される色を色情報と呼ぶことにする。色情報の適正な活用によって、人と環境との良好なインターフェイスが実現されれば、私たちの生活環境はより安全で快適なものとなるだろう。特に高齢化社会を迎えた今日、色情報を適性に活用する意義は大きい。ただし、色は感覚であり、それを認識し行動するのは人間である。つまり、色情報の適正な活用のためには、そこで行動する人々の色覚や視覚探索の特性を理解した上で、それに適合した設計が必要となる。本項では、まず、色情報の有効性とその成立条件の基礎について説明する<sup>1)</sup>。さらに高齢者の色覚特性を考慮し、色情報活用における課題について考えることにする。

色情報が、広範囲に活用されているのは、色という属性が視覚的な探索や分類という課題に対して有効であるからに他ならない。つまり、色という属性によって要素を符号化すると、明るさ、大きさ、形、記号、文字といった他の属性によって符号化する場合と比較して、より効率的に探索や分類を行うことができるのである<sup>2)</sup>。この色の優位性には、主に2つの理由があるように思える。まず第一に、色には絶対判断によって区別可能な性質が備わっていることである。色の見えは連続的に変化するが、ある程度離散的に選択すれば、絶対判断で区別できる色が得られる。例えば、赤、黄、緑、青などの色名で表現される色の見えである。色名との一貫した関係がみられる11のカテゴリカル基本色<sup>3),4)</sup>はそのもっとも効率的な区分といえるだろう。また第二に、色を認識するための有効視野は、形や文字などの識別などと比較すると、きわめて広いことが挙げられる。色の見えも周辺視野において劣化するが、かなり周辺部であっても提示された色が何色であるか判断することは可能である<sup>5)</sup>。すなわち、広い視野にわたって絶対判断が可能であるという色の性質、これが色情報の有効性を支えているといえる。もちろん、この色情報の有効性は無条件に保証されるものではない。次に色情報が有効であるために必要な条件を考えてみる。

まず第一には、色情報が意図された色として観察者に正しく認識されることが必要である。緑と青が互いに混同されたり、赤が茶に誤認されたりすれば、混乱が生じ危険である。そして、この色の見えは観察者の特性や多くの観察条件によって変化する。例えば、発光面であればその輝度<sup>6)</sup>、物体色においては光源からの照度<sup>7),8)</sup>や分光分布<sup>9)</sup>によって色の見えは影響を受ける。ただし色情報の観点からは、詳細な色の見えより、その色が何色として判断されるか、すなわち色の同定の特性が重要となる場合が多いと思われる。例えば、照度レベルと色の同定について調べた研究<sup>10),11)</sup>では、照度がおおよ

そ 11x 程度以下では、色の同定特性は大きく変化しはじめ、緑から青系統の色の混同が顕著になり、また赤系統の色の同定もあいまいになることが示されている。最近の研究<sup>11)</sup>では、薄明視レベルを通して同定に一貫性が見られる色も明らかになっており、今後、光環境に応じた適切な色の選択に有益な指針を与えることが期待される。

色情報の有効性を確保するための第二の条件は、その設定が人間の視覚特性に適合していることである。例えば、識別すべき色差が小さすぎたり、分類すべき色が多すぎれば、色情報の効力は失われる。ここで効率的な色情報の検出とは、目標とする要素が、多数の要素の中から瞬時にかつ容易に識別される場合を意味している。そして、このような視覚探索を並列的な探索という。一方、多数の要素に対して、順次注意を向けて目標を探す必要がある場合を継時的な探索という。後者の場合は、探索に多くの時間を要することになり、色情報の設計としては望ましくない。2つの色を用いて複数の要素を分割した場合、要素間に適当な色差があれば並列的な探索となる。これに必要な色差は色弁別閾のおおよそ 20 倍の大きさに相当する<sup>12)</sup>。この値自体は要素の大きさや背景との関係で変化すると思われるが、確かなことは、色による分類を効率的なものにするためには、色の弁別閾よりもかなり大きな色差が必要ということである。では、複数の色を用いた分類の場合は、何色まで有効に使用できるだろうか。通常それは7色程度まで有効であるとの報告<sup>13)</sup>があるが、カテゴリカル基本色を用いて色の選択を最適化するれば、より多くの色による分類が可能であることも示されている<sup>14)</sup>。さらに私たちを取り囲む生活環境に目を向けてみよう。そこには、整然とした色彩計画がなされた環境もあるが、種々の商業看板や案内表示が混在している複雑な色彩環境の方が多いように思える。このような環境の評価と整備を目指して行われた研究<sup>15)</sup>では、複雑な色彩環境下での色ターゲットの検出効率は、ターゲットと類似した色をもつ要素の数、および背景の色彩構成の多様さが増すにつれて低下することが定量的に示されている。

以上、色情報の有効性とその成立条件について述べてきた。ただし、これまで紹介した研究においては、視覚や色覚の加齢効果については特に考慮されていない。カテゴリカル色知覚、色の有効視野、照度と色の同定、色の視覚探索・分類など、色情報の適正活用の基礎となるべき項目について、高齢者固有のデータはほとんど得られていないのが現状である。したがって以下では、高齢者の眼光学特性、色の見え、色弁別などの基礎的知見を手がかりとして、色情報活用についての高齢者に対する配慮と今後の課題を考えてみたい。(高齢者の色の見えについての詳細は他節を参照のこと。)

まず、加齢によって眼の光学系の特性が変化する。もっとも顕著なのは水晶体レンズの透過率の低下、特に短波長領域での低下が挙げられる。これによって、高齢者の網膜に届く光は若年者に比べて「黄変化」しており、高齢者の見る世界は黄色のフィルターを通して見た世界になっているとの理解がなされることがある<sup>16)</sup>。はたしてそうか。カラーネーミング法による高齢者の色の見えを調べた研究<sup>17),18)</sup>、あるいはユニーク色や白色中性点を測定した研究<sup>19),20)</sup>より、結論のみいえば、高齢者が見る色は若年者と比較して大きく変化してはいない。高齢者が見る色そのものは年齢が進んでもおおよそ維持されているのである。ただし、高齢者では彩度の評価にやや低下が見られたことには、やはり注意が必要だろう。一方、加齢によって変化するのには主に色弁別の能力であ

り、高齢者の色弁別能力の低下が報告されている<sup>18),21)</sup>。つまり例えていえば、若年者にとって白色に見える光は高齢者にとっても白色に見えるが、それと少し異なる色の光を並べたとき、若年者にはそれらが区別できるが、高齢者には区別できない、ということはあるわけである。加齢によって生じる眼光学系、網膜神経系など感覚受容過程の通常の変化に対して、知覚される色が維持されるように何らかの調整（適応といっても良い）が視覚系内で進行し、それとトレードオフされる形で色弁別能力と色のあざやかさが低下していると理解できるのではないだろうか。

さて、このような色覚の特性を持つ高齢者にとって、色情報はいかにあるべきか。まず、色の見えは高齢者も若年者と大きくは異なる結果から考えれば、カテゴリカル基本色のフォーカルカラー<sup>3),4),11),22)</sup>近傍の色などを用いれば、高齢者がそれを全く別の色として認識するような問題はなさそうである。ただし、低輝度、低照度、小サイズなど、観察条件によっては加齢の効果が顕著に現れることも考えられる。一方、高齢者の色弁別の能力低下を考えると、低明度または低彩度の色は、高齢者にはやはり判別しづらいはずである。また、微妙な色の違い、あるいは小さい輝度差によるデザインは問題となる。では、どの程度の色差を用いればよいのかを問わなくてはならないが、現状では、若年者も含めて、色情報が有効に機能するために必要な色差について系統的なデータは得られていない。

色情報は、それを適正に活用することによって、私たちの生活環境の安全性、利便性、ひいては快適性を高めてくれるだろう。ただし、色の見えは観察条件や観察者によって異なる可能性があること、色の使い方によっては色情報の有効性が失われることは、これまでに述べた通りである。色情報をどのように活用していくか、結局のところ、高齢化社会を迎えて、どのような環境を整備していこうとするのか、私たちの選択にかかっている。これまでは、機能と効率を求め複雑化した環境やシステムを、いくらかでも分かりやすくするため、あるいは一層効率を上げるために、色が使われることが多かったように思える。そうではなく、たとえ色が使用されなくても、人々が自然に馴染むことができる環境や機器に、色情報を付加することによって、その確実性、信頼性を高めること、それが色情報の本来あるべき姿ではないだろうか。そして一般には、色情報は、高齢者や色覚異常者など、その色覚特性が（一応の）多数者と多少なりとも異なる人も含めて、できる限り多くの人々に共有され、その使用が想定される広範囲の環境条件に対して安定性の高いものであることが望まれる。実際の環境設計においては、様々な要求事項に対するきめ細かい調整が必要になる。例えば、特別養護老人ホームにおいて、個室の照度を居住者である高齢者への配慮から抑えめにしたところ、介護者側からはお年寄りの顔色がよく分からない、との指摘がなされたとの報告がなされている<sup>23)</sup>。照明や色彩の設計にも、機能的な側面、心理的な側面、そこで活動する人々の立場、経済的な側面などによって異なる方式や基準が求められ、それらが両立しない場合には何らかのトレードオフが図られる。色情報に関して、設計の指針となる色情報が満たすべき方式や基準の提供が課題であろう。今後、さらに研究や調査を進めることによって、科学的データの蓄積とその活用が求められる。

（石田泰一郎）

#### 参考文献

- 1) 石田泰一郎: 「色情報の活用とその有効性」, 光学, 23, 9-16, 1996.
- 2) R.E. Christ: "Review and analysis of color coding research for visual displays," Hum. Factors, 17, 542-570, 1975.
- 3) R.M. Boynton and C.X. Olson: "Locating basic colors in the OSA space," Color Res. Appl., 12, 94-105, 1987.
- 4) K. Uchikawa and R.M. Boynton: "Categorical color perception of Japanese observers: Comparison with that of Americans," Vision Res., 27, 1825-1833, 1987
- 5) K. Segawa, I. Kuriki and K. Uchikawa: "Categorical color perception in peripheral visual field", Proc. AIC97, 243-246, 1997.
- 6) H. Shinoda, K. Uchikawa and M. Ikeda: "Categorized color space on CRT in the aperture and the surface color mode," Color Res. Appl., 18, 326-333, 1993.
- 7) 湯尻照: 「照度レベルによる表面色の色の見えの変化: 刺激サイズの影響」, 光学, 19, 97-104, 1990.
- 8) 門馬智春, 本間園乃枝, 矢口博久, 塩入諭, 羽石秀明, 三宅洋一: "两眼隔壁等色法による薄明視における表面色の見えの測定", 光学, 22, 273-280, 1993.
- 9) 栗木一郎, 内川恵二: 「色恒常性の二つの段階: 完全色恒常性と部分的色恒常性」, 照明学会誌, 81, 125-135, 1997.
- 10) 石田泰一郎, 清水友恵, 池田光男: "照度レベル変化に伴う表面色の同定特性", 日本色彩学会誌, 19, 121-129, 1995.
- 11) T. Ishida: "Systematic measurement of color identification under wide range of illuminance levels", Proc. CIE99 (in press)
- 12) A.L. Nagy and R.R. Sanchez: "Critical color differences determined with a visual search task," J. Opt. Soc. Am. A, 7, 1209-1217, 1990.
- 13) M.C. Cahill and R.C. Carter: "Color code size for searching displays of different density," Hum. Factors, 18, 273-280, 1976.
- 14) H.S. Smallman and R.M. Boynton: "Segregation of basic colors in an information display," J. Opt. Soc. Am. A, 7, 1985-1994, 1990
- 15) T. Ishida: "Efficiency in visual search for a color target in a complex color environment", Proc. AIC97, 143-146, 1997.
- 16) 吉田あこ: 「高齢者の視界黄変化を配慮した色彩計画」, 高齢者のための建築環境 (日本建築学会編, 彰国社) 96-106, 1994.
- 17) B.E. Scheffrin and J.S. Werner: "Age-related changes in the color appearance of broadband surfaces", Color Res. Appl., 18, 380-389, 1993
- 18) 佐藤千穂: 「加齢に伴う色の見えの変化」, 照明学会誌, 82, 530-537, 1998.

- 19) B.E. Scheffrin and J.S. Werner: "Loci of spectral unique hues throughout the life span", *J. Opt. Soc. Am. A*, 7, 305-311, 1990.
- 20) B.E. Scheffrin and J.S. Werner: "Loci of achromatic points throughout the life span", *J. Opt. Soc. Am. A*, 10, 1509-1516, 1993.
- 21) K. Knoblauch et al.: "Age and illuminance effects in the Farnsworth-Munsell 100-hue test", *Appl. Opt.*, 26, 1441-1448, 1987.
- 22) J. Sturges and T.W.A Whitfield: "Locating basic colours in the Munsell Space", *Col. Res. Appl.*, 20, 364-376, 1995.
- 23) 「特別養護老人ホームは“終の住みか”になるか」, 日経アーキテクチュア, 1998. 10. 19

### 7.2.3 フラットパネルディスプレイの国際規格と課題

近年のインターネットの普及に伴い、様々な電子情報がネットワークを介して利用されるようになってきた。電子ディスプレイは電子情報を表示し、情報と利用者との接点として重要な役割を担っている。今日における、電子ディスプレイは CRT (Cathode Ray Tube) ディスプレイが中心となっているが、ノートブック型パソコンや携帯型情報端末の表示装置として液晶ディスプレイが普及し、液晶ディスプレイの大型化やプラズマディスプレイの登場により、デスクトップ型パソコンの表示装置や家庭用テレビにも利用され始めている。液晶ディスプレイやプラズマディスプレイなどのフラットパネルディスプレイは、小型、軽量、省電力などの特徴を備え、今後の電子ディスプレイの中心的存在となるであろう。フラットパネルディスプレイにとって、情報を見やすく表示することは、重要な課題の一つであり、視認性に優れたディスプレイの研究・開発が続いている。

一方、視認性に優れたディスプレイとは何か、人間工学的視点より多くの研究が CRT ディスプレイを中心に行われ、国際規格 (ISO 9241 : Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) – Part3 Visual display requirements) となっている。フラットパネルディスプレイに関しては、Ergonomic requirements for visual display units based on flat panels. Part2: Requirements for flat panel displays. ISO/FDIS 13406 として国際規格化が進んでおり、1999 年 3 月現在において Final Draft International Standard (FDIS) となっている。ここでは、現在審議中のフラットパネルディスプレイの人間工学的国際規格である ISO/FDIS 13406 について紹介する。

#### ISO/FDIS 13406 の目的と適用範囲

目的: ISO/FDIS 13406 の目的は以下のようになっている。

1. フラットパネルディスプレイの設計や評価のための人間工学的な画質に対する要求値を定める。
2. フラットパネルディスプレイの画質に影響する要因を定義する。
3. フラットパネルディスプレイの画質の測定方法を定める。
4. 本規格の要求値を決める基礎となる人間工学的原理を定める。

適用範囲: 以下に示すように、この国際規格の適用範囲はオフィス内 (使用環境) で文字情報を扱う (作業内容) 場合に限定されている。

1. オフィス内における作業で使用されるフラットパネルディスプレイ
2. 等しい間隔の画素を持つフラットパネルディスプレイ
3. アルファベットや漢字等の文字を表示している場合
4. 少なくとも 40 文字/行を表示できるフラットパネルディスプレイ

#### ISO/FDIS 13406 の構成

ISO/FDIS 13406 の構成は以下のようになっている。

第1章-第6章は、スコープ、リファレンス、測光、測色の定義、シンボル等の定義が行われている。第7章は「Design Requirements and Recommendations」である。フラットパネルディスプレイの視認性に関連する全29項目に対する、人間工学的要求値もしくは推奨値を示しており、本規格の中心をなす部分である。第8章は「Measurements」であり、第7章に示されている各項目に対する具体的な測定方法が示されている。この章で示される測定方法に沿った測定が必要となる。第9章は「Compliance」となっており、第8章で示された測定法によって得られた測定値と第7章に示す要求値より、評価対象となるフラットパネルディスプレイがこの規格に適合しているか否かを判断する方法が示されている。

### 日本の対応

ISO/FDIS 13406 の日本における審議は日本人間工学会 TC159 人間工学国内委員会 (JENC) によって活発に行われており、日本からの技術的コメントが多く規格の中に反映されている。液晶ディスプレイをはじめとするフラットパネルディスプレイの開発、製造の中心は日本企業であり、日本の担うべき役割は大きい。日本電子機械工業会 (EIAJ) の液晶産業研究会のもとに設置されている人間工学プロジェクトや同じ日本電子機械工業会の電子ディスプレイ標準化委員会の液晶ディスプレイグループ、LCD 測定方法プロジェクトグループ等で ISO/FDIS 13406 の検討が行われた。ISO/FDIS 13406 に関しては、すでに技術的検討は終了したが、フラットパネルディスプレイ関連の規格制定において日本は重要な役割を果たしている。今後も積極的に国際規格の制定等に係わり、フラットパネルディスプレイに関連する国際的リーダーシップを発揮するために、筆者も微力ながら協力していくつもりである。

### 今後の課題

ISO/FDIS 13406 に関していえば、測定方法が複雑であることが最も大きな問題点である。前述した、TC159 人間工学国内委員会の精力的な活動により、一部改善されたものの、まだ十分に簡略化が進んだとはいえない。また、フラットパネルディスプレイの応用分野を考えると、屋外での使用に対する検討が必要である。技術的な面からは、反射型のディスプレイに対する検討が必要であろう。本委員会の議題である高齢者への対応も重要な課題である。電子ディスプレイの高齢者対策は現状ではほとんど考えられておらず、まず高齢者の視認性等、基礎データを得ることが先決となろう。前述の日本電子機械工業会の人間工学プロジェクトにおいて、高齢者の視認性等に関する基礎データの収集が行われつつある。来るべき情報化社会、高齢化社会を考えると、電子ディスプレイの高齢者対応の必要性が望まれ、基礎的、応用的研究の推進が必要である。いずれにしても高齢者に対する対応は重要かつ早急な課題である。

(田村 徹)

## 7.2.4 高齢ドライバーの現状と課題

世の中の高齢化に伴い運転免許証の保有者も高齢化している。車両の一般ドライバ及びバス、トラック等の職業ドライバも同様の傾向にある事の調査報告、高齢ドライバの特性調査報告、交通事故調査よりの推定を行い、夜間走行時の視認性改良に効果大の高光度な放電灯（HID）ヘッドランプを紹介する。

### (1) ドライバの高齢化傾向の調査結果

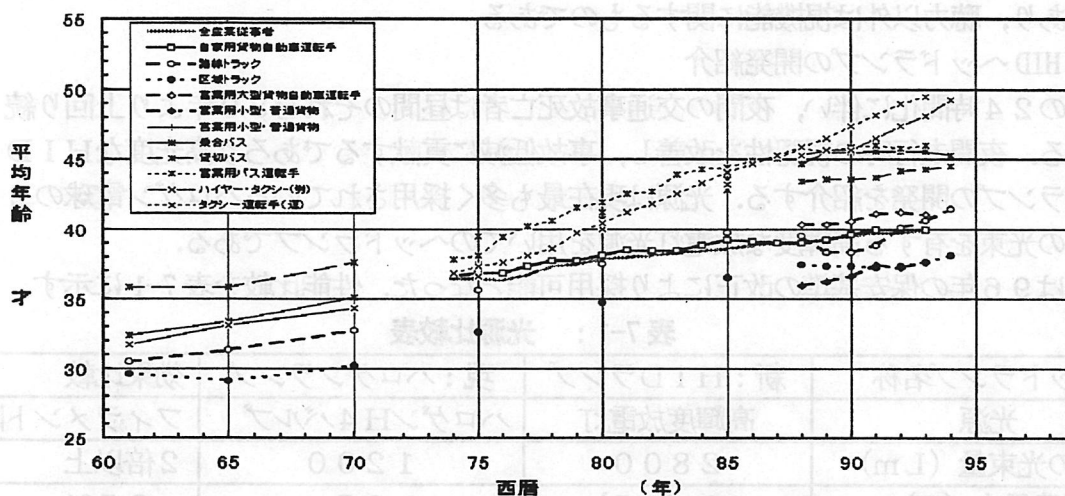


図 7-7 職業運転手平均年齢の推移

職業運転者の平均年齢、勤務条件、事故率等の30年間の推移を調査した。平均年齢を図7-7に示す。タクシー、トラックのドライバは高齢化している。また、普通免許及び大型免許保有者の60歳以上の割合も増加し、2010年には高齢ドライバが全体の約27%に達する。

### (2) 高齢者の交通事故率

年齢層別でみた交通事故死者構成率も65歳以上では29.1%で、人口構成率14.1%に比較して非常に高い。(平成6年度)

### (3) 高齢ドライバの一般的な特性

高齢ドライバの一般的な特性は次のとおり。(National Research Councilなど)

- ① 高齢者ドライバの運転は、プライベートなものが多い。
- ② 50歳を越えると走行距離は減り、60歳を越えるとさらに激減する。
- ③ 75歳を過ぎるとドライバよりも同乗者となる傾向が強い。
- ④ 夜間運転、悪天候下での運転、ラッシュ時の運転はしなくなる。

### (4) 高齢ドライバが自覚している問題：視機能に関するものが多い。

446人の高齢ドライバを対象にしたアメリカの調査は次のとおり。

- ① 夜間運転時の視界の低下。
- ② 交通標識などの視認性低下。
- ③ インナーパネル等の計器類の視認性低下。
- ④ 高速交通流への合流と高速運転の反応時間低下。

⑤バックするときの後方確認の動作低下と視覚低下。

⑥シートベルトの着脱。(Yee, 1985; Tsander and Herner, 1976)

視機能の低下を高年齢ドライバーが自覚するのは、対向車のヘッドランプによるグレアを受けたとき(25%)、夜間運転時(25%)、雨霧での運転時(19%)となっている。(Yee, 1985)

また、労働科学研の調査で、運転能力で若い時と比べ高年齢による水準低下の大きなものは、薄明順応(-64) / 視力(-37) / 分析と判断力(-23) / 聴力(-56)などであり、聴力以外は視機能に関するものである。

(4) HID ヘッドランプの開発紹介

生活の24時間化に伴い、夜間の交通事故死亡者は昼間のそれを80年より上回り続けている。夜間走行時の視認性を改善し、事故低減に貢献するであろう高光度なHIDヘッドランプの開発を紹介する。光源は現在最も多く採用されているハロゲン電球の2倍以上の光束を有する高輝度な放電灯光源を用いてのヘッドランプである。

これは96年の保安基準の改正により採用可能となった。性能比較を表7-1に示す。

表7-1: 光源比較表

ヘッドランプ名称	新:HIDランプ	現:ハロゲンランプ	効果比較
光源	高輝度放電灯	ハロゲンH4バルブ	フィラメント断線無
光源の光束量(Lm)	2800	1200	2倍以上
消費電力(W)	42(35)	65	-35%
色温度(K)	4500	3000	昼白色に近い

このような明るい光源を用いて開発したHIDヘッドランプの路面配光(路面照度分布)の比較を図7-8に示す。ドライバーのフィーリング評価であるが、白さ、明るさのため障害物がはっきり認識でき、(高年齢)ドライバーの視認性は向上している。

また、配光性能が様々な走行環境に適して可変するランプ等も研究開発されている。(望月正人)

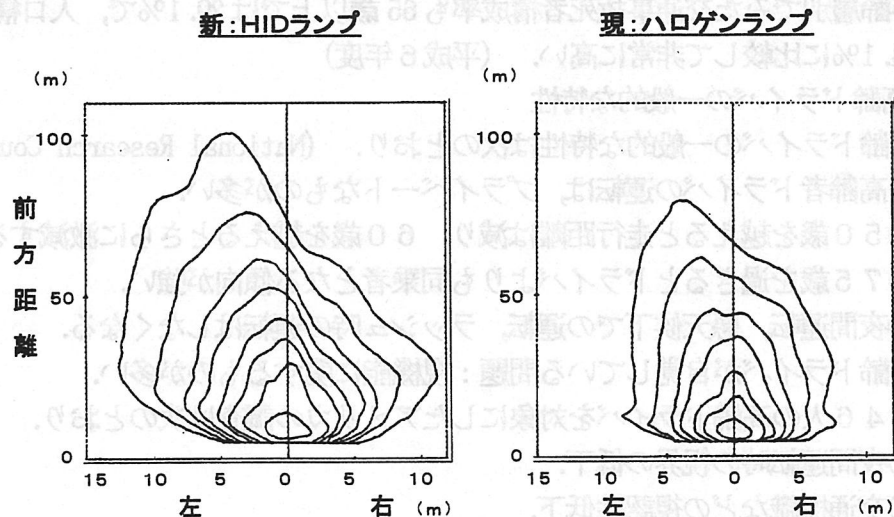


図7-8 路面等照度分布 比較

### 7.3 高齢者問題の現状と将来展望 総括

視環境を設計する者にとって、高齢者の生活を考え、現状を理解し、何が問題になり、どのようなトラブルが予測されるか、関心はつきない。実際にはさまざまな調査が行われており、参考となる報告もされている<sup>1),2),3),4),5),6)</sup>。

7章では応用分野に関連する研究の現状を調べ、応用現場での問題点を指摘し、これを改善あるいは回避する提案をしてきた。以下にまとめる。

#### 研究の現状

##### 【視認性】

- 1 輝度差弁別閾の加齢効果シミュレーションにより、文章を読むのに必要な照度の加齢による変化が予測できる。
- 2 1は高空間周波数成分の情報を必要とする作業（読書など）に適用できるが、低空間周波数の情報で問題のない行為（廊下の歩行など）には適用できない。

##### 【色覚】

- 1 照度（輝度）が低下すると、色弁別能は大幅に低下する。特に、黄色青色の色弁別能が低下する。
- 2 1.の色弁別能低下は、年齢に伴い、高い照度（輝度）で生じるようになる。
- 3 高齢者は、若年者よりも彩度を低く評価する、すなわち「白っぽく」見えている可能性がある。
- 4 色弁別能低下も彩度低下も、眼光学系だけではなく、錐体 and/or 神経系の加齢変化が原因。
- 5 色認識レベルにおいては、高齢者も若年者と大きな違いは見られない。

##### 【グレア】

- 1 高齢者は若年者より不快グレアを感じやすい。ただし反対の実験結果もある。
- 2 加齢につれて、まぶしさを許容できる輝度が低くなる。
- 3 高齢者も若年者も相関色温度の高い光源ほど不快グレアを感じやすい。
- 4 許容限界輝度は順応照度（輝度）レベルに影響を受ける。順応レベルが高いほど、許容輝度も高くなる。
- 5 グレアの程度は視野の中のグレア源の位置に影響を受ける。

#### 応用現場での問題点

##### 【住宅照明の現状と課題】

- 1 「明るさ」を如何に確保するかが高齢者・設計者にとっての共通の問題である。
- 2 器具やランプなどのメンテナンスや使い勝手など、照明ハードに対するユーザーからの要望が多数ある。
- 3 階段、廊下、居間、浴室、食堂などで「明るさ」が足りないと感じている高齢者がいる。
- 4 照明環境の設計者にとっての疑問には、“照度”：設定すべき照度レベルは？、

“グレア”：どのくらいの輝度からまぶしさを感じるのか？，“色認識”：見えにくい色は？，選ぶべき光源は？，“光色”：白内障や緑内障の人に適した光色は？，“順応”：空間別の照度差はどのくらいまで許容できるか？，“目の疲労”：疲れにくい環境にするにはどうすべきか？，などがある。

5 高齢者の必要照度に関しては様々な報告があり混乱も生じている。

#### [色情報の活用の効果と課題]

1 カテゴリカル色知覚，色の有効視野，照度と色の同定，色の視覚探索・分類など，色情報の適正活用の基礎となるべき項目について，高齢者固有のデータはほとんど得られていない現状がある。

2 加齢によって眼の光学系の特性が変化する。もっとも顕著なのは水晶体レンズの透過率の低下，特に短波長領域での低下が挙げられる。

3 カラーネーミング法による高齢者の色の見えを調べた研究，ユニーク色や白色中性点を測定した研究より，高齢者が見る色は若年者と比較して大きく変化してはいない。高齢者が見る色そのものは年齢が進んでもおおよそ維持されている。

4 高齢者では彩度の評価にやや低下が見られる。

5 加齢によって変化するのには主に色弁別の能力である。例えていえば，若年者にとって白色に見える光は高齢者にとっても白色に見えるが，それと少し異なる色の光を並べたとき，若年者にはそれらが区別できるが，高齢者には区別できない，ということがあり得る。

6 現状では，色情報が有効に機能するために必要な色差について系統的なデータは年齢によらず得られていない。

#### [フラットパネルディスプレイの国際規格と課題]

1 電子ディスプレイはCRT(Cathode Ray Tube)ディスプレイが中心となっているが，ノートブック型パソコンや携帯型情報端末の表示装置として液晶ディスプレイが普及し，液晶ディスプレイの大型化やプラズマディスプレイの登場により，デスクトップ型パソコンの表示装置や家庭用テレビにも利用され始めている。

2 視認性に優れたディスプレイとは何か，人間工学的視点より多くの研究がCRTディスプレイを中心に行われ，国際規格(ISO 9241: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) – Part3 Visual display requirements)が存在する。

3 フラットパネルディスプレイに関しては，Ergonomic requirements for visual display units based on flat panels. Part2: Requirements for flat panel displays. ISO/FDIS 13406 として国際規格化が進んでおり，1999年3月現在においてFinal Draft International Standard (FDIS)となっている。

4 ISO/FDIS 13406の日本における審議は日本人間工学会 TC159 人間工学国内委員会(JENC)によって活発に行われており，日本からの技術的コメントが多く規格の中に反映されている。液晶ディスプレイをはじめとするフラットパネルディスプレイの開発，製造の中心は日本企業であり，日本の担うべき役割は大きい。

5 ISO/FDIS 13406 に関していえば，測定方法が複雑であることが最も大きな問題

点である。

- 6 フラットパネルディスプレイの応用分野を考えると、屋外での使用に対する検討が必要である。
- 7 電子ディスプレイの高齢者対策は現状ではほとんど考えられておらず、まず高齢者の視認性等、基礎データを得ることが先決となる。日本電子機械工業会の人間工学プロジェクトにおいて、高齢者の視認性等に関する基礎データの収集が行われつつある。

#### 〔高齢ドライバーの現状と課題〕

- 1 運転免許証の保有者も高齢化しており、車両の一般ドライバー及びバス、トラック等の職業ドライバーも同様の傾向にある。2010年には普通免許及び大型免許保有者の60歳以上の割合は全体の約27%に達する。
- 2 高齢者の交通事故率（平成6年度）は、年齢層別でみた交通事故死者構成率も65歳以上では29.1%で、人口構成率14.1%に比較して非常に高い。
- 3 高齢ドライバーの一般的な特性は次のとおり。（National Research Councilなど）
  - ①高齢者ドライバーの運転は、プライベートなものが多い。
  - ②50歳を越えると走行距離は減り、60歳を越えるとさらに激減する。
  - ③75歳を過ぎるとドライバーよりも同乗者となる傾向が強い。
  - ④夜間運転、悪天候下での運転、ラッシュ時の運転はしなくなる。
- 4 高齢ドライバーが自覚している問題：視機能に関するものが多い。
  - ①夜間運転時の視界の低下。
  - ②交通標識などの視認性低下。
  - ③インナーパネル等の計器類の視認性低下。
  - ④高速交通流への合流と高速運転の反応時間低下。
  - ⑤バックするときの後方確認の動作低下と視覚低下。
  - ⑥シートベルトの着脱。
- 5 視機能の低下を高齢ドライバーが自覚するのは、対向車のヘッドランプによるグレアを受けたとき（25%）、夜間運転時（25%）、雨霧での運転時（19%）。
- 6 労働科学研の調査によると、運転能力で若い時と比べ高齢による水準低下の大きなものは、薄明順応（-64）／視力（-37）／分析と判断力（-23）／聴力（-56）などである。

#### 問題の改善・回避の提案

##### 〔視認性〕

- 1 年齢によらず観察者の視力を把握して、視作業に必要な照度・輝度を確保する。
- 2 対象の空間で行われる作業や行動の種類を把握して、照度や輝度を設定する。

##### 〔色覚〕

- 1 色情報が重要となる環境の場合、ある照度以下は用いないようにし、できるだけ高照度にする。
- 2 低い照度にする場合は、色情報以外の情報（文字等）を付加する。

- 3 高齢者の網膜輝度の変化は、色によって異なるため、輝度差にも注意して配色する必要がある。（青色は赤色に比べて実効輝度の低下が大きいいため、特に（青の輝度） > （赤の輝度）の隣接関係の場合に注意！）
- 4 用いる色はできるだけ高彩度&高明度にした方が、低照度での彩度低下の影響が小さい。
- 5 波長に対する相対的明るさが補償されているだけで、絶対的明るさは低下していることに注意する必要がある。（眼光学系の加齢効果から推定される網膜照度低下による明るさの減少を考慮する必要がある）

#### 【グレア】

- 1 視野内に輝度の高い照明器具や露出したランプは設置しない。
- 2 視野にグレア源が入る場合は、できるだけ輝度の低いものを選ぶ。
- 3 順応輝度を上げるとグレアを軽減できる。

#### 応用問題における将来展望

色差研究やフラットディスプレイパネル開発においては、高齢者に対する取り組みはこれからである。また、今後増加するであろう高齢者ドライバーに対する研究は、ドライバ・非ドライバの安全の点からも増えると予想される。視認性やグレア研究などでは基礎研究は多いものの、その情報を応用に結びつける部分で、研究者と設計者がうまくリンクしていない現状がある。応用問題分科会で取り上げた「視認性」、「色覚」、「グレア」の3つのトピックスは高齢者にとって今後も改善が必要となる切実なものであり、突き詰めた研究が必要である。そして、貴重な研究成果を実際の視環境設計に活かすためには、研究者と設計者がうまくリンクして、データを実設計に活用できる形に情報提供がなされるべきである。今後の研究対象として注目されるトピックスを挙げたことで、研究者と設計者の認識が共通したテーマに向き、さらなる研究が進むことに期待したい。

（高橋好正）

#### 参考文献

- 1) 柏ほか：高齢者が住む住宅の照明に関する実態調査，照学全大，pp. 182-183（1996）
- 2) 石原ほか：加齢に伴う水晶体黄変化による日常生活への影響，人間工学，34-1，pp. 9-16（1998）
- 3) 佐藤ほか：地方都市における住宅内でのけが（その1）－けがの場所と原因－，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），pp. 157-158（1996）
- 4) 廣畑ほか：地方都市における住宅内でのけが（その2）－場所別にみたけがの回数と原因－，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），pp. 159-160（1996）
- 5) 内田ほか：地方都市における住宅内でのけが（その3）－事例紹介－，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），pp. 161-162（1996）
- 6) 石倉ほか：交通事故例調査データを活用した夜間の交通事故と光環境に関する調査，照学全大，pp. 154-155（1998）

「高齢者の視覚特性を考慮した照明視環境の基礎検討」

正誤表

1. 25 ページの執筆者名（岡嶋克典）が抜けています。

2. 30 ページの 3.2.6 式が抜けています。下記の式が入ります。

$$Y(A) = K \sum_{400}^{650} \rho(\lambda) E(\lambda) y(\lambda) \tau(\lambda, A, 32) \Delta\lambda$$

3. 100 ページの執筆者名（岩井彌）が抜けています。

