JIER－074

生活環境における視認性評価の概念と課題

照明学会「視認性に関する研究調査委員会」報告

２００２年３月

社団法人　照　明　学　会

生活環境における視認性評価の概念と課題

照明学会「視認性に関する研究調査委員会」報告

目次

頁

第1章 序論
1．1節 委員会の目的……1
1．2節 委員会の構成および活動内容……1
1．3節 報告書内容の概要……5
1．4節 謝辞……5

第2章 視認性研究の概略と基盤的既往研究
2．1節 視認性に関する用語とその概念……6
2．2節 視認性の具体的課題とその対処法……8
2．2．1 閾上レベルでの視認性の取り扱い……8
2．2．2 高空間周波数情報だけでは決まらない視認性の取り扱い……11
2．2．3 不均一な視野上での視認性の取り扱い……13
2．3節 視力、CSF と視認性……15
2．4節 VL の概念とその応用……19
2．5節 高齢者に配慮した視認性研究……22
2．5．1 視環境のユニバーサル・デザイン……22
2．5．2 高齢者（老人性白内障）の見え方調査結果……25
2．5．3 視覚の視野特性とその加齢効果……29

第3章 可読性に関する調査研究
3．1節 可読性に関する定義と文献の整理……34
3．2節 可読性に関わる基礎的研究動向……37
3．2．1 可読性に関わる空間要因と色コントラスト……37
3．2．2 視認性評価と眼球運動……41
3．3節 明視三要素と VL……44
3．4節 文章の読みやすさに対する視認性評価関数の定式化……49
3．5節 ディスプレイ上での可読性実験……54

第4章 VDT 作業における視認性調査研究
4．1節 表示に関する規格と視認性……59
4．1．1 コントラスト・周囲の明るさ・表示輝度……59
4．1．2 文字の大きさ……62
4．1．3 文字の線幅，行間隔／文字間隔……64

４．１．４ 表示色 ……66
４．１．５ 結び ……67
４．２節 表示に関する規格化の動向 ……70
４．３節 作業環境としての照明と視認性 ……72
４．３．１ 天井面の照明器具による不快グレア ……72
４．３．２ VDT 画面に生じる反射像 ……73
４．３．３ VDT 作業時の水平面照度 ……75
４．４節 LCD（液晶ディスプレイ）の高精細化と文字の読みやすさ ……77
４．５節 画面デザインと視認性 ……80
４．６節 VDT 作業環境に対する提言 ……82

第５章 道路交通環境における視認性
５．１節 基盤的研究 ……84
５．１．１ 自動車運転時の有効視野 ……84
５．１．２ LED を光源とする標示灯の視認性の検討 ……87
５．１．３ 道路交通環境を念頭に置いた視認性研究 ……89
５．１．４ 道路付帯設備の視認性評価について ……91
５．２節 自動車照明における基準とその問題点 ……93
５．２．１ 各地域の規格とその特徴 ……93
５．２．２ 視認性に関する評価項目と手法 ……95
５．２．３ 問題点の抽出 ……96
５．３節 道路標識の設置基準 ……98
５．３．１文字の大きさと設置位置 ……98
５．３．２実際の設置と問題点 ……98
５．４節 道路交通環境に対する提言 ……100
５．４．１自動車照明に関して ……100
５．４．２道路照明に関して ……102

第１章　序論

1.1.　委員会の目的

日常の環境において、「見やすさ」の問題は、生活の安全性や快適性を考えるうえで避けて通ることはできない。例えば、公共空間における各種案内表示や標識などの文字、また医薬品や食品等の注意書き等の読みやすさ、あるいは通路の段差や障害物の認識のしやすさは、利用者や通行人の安全という観点では非常に重要であるし、また近年のIT環境の発展に伴って普及してきたさまざまなタイプの表示デバイスにおける表示内容の読みとりやすさは、快適性という観点で非常に重要である。

このような視認性の問題は、単に対象とされる物（例えば文字）の属性だけを検討し適正な値に設定すればよいわけではない。対象を観察するためには、それを照らす照明があり、それを観察する視覚メカニズムが存在するわけで、言うまでもなく、これら３者の要因を包括的に考慮しながら、視認性を扱っていく必要がある。その１つである視覚メカニズムに関連しては、高齢社会への移行に伴い、視覚機能の加齢変化をも考慮しながら、視認性の問題を扱っていく必要性が生じている。実際にこの問題に関連して、ユニバーサルデザインの概念が広まり、また加齢工学が注目されるなど、エイジレスなデザインを実現するための指針や手法を求める社会的ニーズは飛躍的に増大している。

もちろん、これまでにも視認性の問題について、さまざまな研究が報告され、規格等が提案されてきた。しかしながら、これらはかなり限定された状況を想定したものであり、文字の視認性についてだけでも、あらゆる状況に対応可能な評価方法や指針は現在存在しない。これは、上述のように視認性を考える上での要因が幅広く、その検討が容易ではないこともあげられよう。従って、このような複雑な要因をさまざまに含んだ視認性についてどのようなことがこれまでに論じられてきたのか、またこれらを集約することで何がいえるのか、さらに今後なすべき課題は何かについて、現時点でまとめておくことが重要であると思われる。

そこで照明学会では、上述の課題達成を目標として、「視認性に関する研究調査委員会」を平成11年4月に発足させた。当初の活動期間は、２年間が予定されていたが、対象とする問題が多岐にわたり、さらに１年間の期間を延長して、平成14年３月に、その目的を達成して委員会を終了した。

この報告書は、３年間にわたる当該委員会の活動内容をまとめたものであり、その重要性の点からも、特に文字の読みやすさに関わる内容に焦点が当てられている。視認性、とりわけ可読性についての基礎的研究動向と評価方法、さらには、VDTなど操作パネルでの視認性に関わる規格とその問題、さらには道路環境での視認性に関わる規格とその問題を扱っている。本報告書が、今後視認性を検討される方々に、わずかながらも参考となれば幸いである。

1.2.　委員会の構成および活動内容

当該委員会は、平成10年4月より平成14年３月まで活動を行った。その人

員構成は以下の通りである。

委員長	氏家　弘裕	(独)産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門
幹　事	阿山みよし	宇都宮大学工学部
幹　事	岩井　彌	松下電工株式会社中央照明エンジニアリングセンター
委　員	井戸　健二	株式会社東芝デザインセンター
委　員	岩田三千子	摂南大学工学部
委　員	岡嶋　克典	防衛大学校応用物理学科
委　員	菊池　里子	株式会社東芝デザインセンター
委　員	久保　千穂	豊田合成株式会社開発部
委　員	佐藤　孝	スタンレー電気株式会社技術研究所
委　員	田村　徹	東京工芸大学工学部
委　員	永田　雅典	豊田合成株式会社開発部
委　員	深谷美登里	株式会社東芝デザインセンター
委　員	舟川　政美	社団法人人間生活工学研究センター研究開発部
委　員	向　　健二	松下電器産業株式会社照明社
委　員	望月　正人	いすゞ自動車株式会社 CV 商品企画室

また当該委員会では、より具体的な問題を詳細に議論するために、「可読性調査班」、「操作パネルの視認性調査班」、「道路環境の視認性調査班」の３つの班を設置した。このうち、可読性調査班では、文字の読みやすさを中心に、可読性に関わるさまざまな基礎研究について調査、整理し、その問題点をまとめることを目標とした。また、操作パネルの視認性調査班では、VDT など操作パネルに関わる各種規格を調査するとともに、その問題点を明らかにすることを目標とした。さらに、道路環境の視認性調査班では、道路場面での視認性に関わる規格調査とその問題点などを中心に調査することを目標とした。

各班の人員構成は以下の通りである。

可読性調査班

班　長	岡嶋　克典	防衛大学校応用物理学科
班　員	阿山みよし	宇都宮大学工学部
班　員	岩井　彌	松下電工株式会社中央照明エンジニアリングセンター
班　員	氏家　弘裕	(独)産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門
班　員	舟川　政美	社団法人人間生活工学研究センター研究開発部

操作パネルの視認性調査班

班　長	舟川　政美	社団法人人間生活工学研究センター研究開発部
班　員	阿山みよし	宇都宮大学工学部
班　員	岩井　彌	松下電工株式会社中央照明エンジニアリングセンター
班　員	氏家　弘裕	(独)産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門
班　員	菊池　里子	株式会社東芝デザインセンター
班　員	向　　健二	松下電器産業株式会社照明社

道路環境の視認性調査班

班　長　佐藤　孝　　スタンレー電気株式会社技術研究所
班　員　阿山みよし　宇都宮大学工学部
班　員　岩井　彌　　松下電工株式会社中央照明エンジニアリングセンター
班　員　岩田三千子　摂南大学工学部
班　員　氏家　弘裕　　(独)産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門
班　員　久保　千穂　豊田合成株式会社開発部
班　員　望月　正人　いすゞ自動車株式会社 CV 商品企画室

当該委員会は、その主な活動として 13 回の本委員会を開催するなどの活動を行った。本委員会開催時の活動内容と、その他の主な活動内容とを以下に示す。

本委員会における活動内容

第 1 回本委員会（平成 11 年 7 月 9 日／照明学会事務局第 2 会議室）
1．視認性に関する用語討論
2．研究報告：自動車運転時の有効視野

第 2 回本委員会（平成 11 年 10 月 15 日／照明学会事務局第 1 会議室）
1．調査解説：視認性研究の概略と動向
2．調査解説：Visibility Level から見た視認性研究について
3．調査解説：道路交通環境における視認性「ヘッドライトによるグレアと路面照度分布」
4．日常生活における視認性の課題討論

第 3 回本委員会（平成 11 年 12 月 17 日／照明学会事務局第 1 会議室）
1．調査解説：視認性評価尺度と閾値データとの関係について
2．調査解説：操作パネルディスプレイにおける視認性の課題
3．視認性に関する文献調査討論

第 4 回本委員会(平成 12 年 3 月 16 日／インダストリアルホール 6F 小会議室)
1．「可読性調査班」活動報告（可読性研究の概念的整理）
2．「操作パネルの視認性調査班」活動報告（VDT 規格の概略）
3．調査解説：ディスプレイの視認性の標準化動向と課題
4．研究報告：視認性評価と空間周波数特性

第 5 回本委員会（平成 12 年 6 月 26 日／照明学会事務局第 2 会議室）
1．「操作パネルの視認性調査班」活動報告（VDT 規格の比較）
2．「道路環境の視認性調査班」活動報告（道路標識の規格とその問題点）
3．「可読性調査班」活動報告（文献整理）
4．研究報告：視野特性と視認性について
5．視認性課題の事例とその対処方法の検討

第 6 回本委員会（平成 12 年 9 月 29 日／松下電子工業(株)照明社 LLCC 棟 2 F 研修室）（建築学会近畿支部光環境部会との共催）
1．松下電子工業㈱照明社　高槻工場見学
2．研究報告：文章の読みやすさに影響を与える三要素と VL（関西大学原

直也先生）
3．研究報告：視認性評価関数の定式化　－対象：文章の読みやすさ－
4．研究報告：LED を光源とする表示灯の視認性の検討
5．可読性と表示灯の視認性に関する討論

第 7 回本委員会（平成 12 年 12 月 21 日／照明学会事務局第 1 会議室）
1．調査解説：ユニバーサルデザインとサイン環境
2．「可読性調査班」活動報告（文献整理）
3．「操作パネルの視認性調査班」活動報告（テーマ紹介）
4．照明学会技術講演会報告

第 8 回本委員会（平成 13 年 3 月 28 日／照明学会事務局第 1 会議室）
1．研究報告：高齢者（老人性白内障）の見え方調査結果（松下通信工業㈱、小濱朋子氏）
2．「道路環境の視認性調査班」活動報告（文献紹介）

第 9 回本委員会（平成 13 年 5 月 21 日／照明学会事務局第 1 会議室）
1．調査解説：車に関する視認性の改良に関して
2．「操作パネルの視認性調査班」活動報告（国際規格紹介）
3．「道路環境の視認性調査班」活動報告（文献紹介）
4．照明学会技術講演会報告

第 10 回本委員会（平成 13 年 7 月 16 日／照明学会事務局第 1 会議室）
1．研究報告：人間中心設計プロセスにおける人間工学と視認性研究
2．「道路環境の視認性調査班」活動報告（自動車照明の現状と問題点）
3．調査報告：道路交通照明の現状と問題点
4．文献紹介：道路環境における視認性

第 11 回本委員会（平成 13 年 9 月 13 日／インダストリアルホール 1F 中会議室）
1．文献紹介：テクスチャ背景上の文章の読みやすさ評価
2．「操作パネルの視認性調査班」活動報告（グレアの評価方法）
3．「道路環境の視認性調査班」活動報告（ドライバーの有効視野）

第 12 回本委員会（平成 13 年 12 月 17 日／照明学会事務局第 2 会議室）
1．「操作パネルの視認性調査班」活動報告（オフィス環境での VDT 作業）
2．研究報告：液晶ディスプレイの高精細化と視認性
3．文献紹介：車載ディスプレイと車間距離維持について
4．研究報告：文字の読みやすさと眼球運動

第 13 回本委員会（平成 14 年 2 月 4 日／照明学会事務局第 1 会議室）
1．調査報告：標準案内用図記号ガイドライン策定とその視認性
2．研究報告：VDT における文字の読みやすさ評価
3．調査報告：作業環境としての照明と視認性

その他の主な活動内容

1．IE TC1-19「視作業における可視度評価」の技術報告書に対する日本照明委員会への意見回答
平成 12 年 6 月 9 日
2．明学会技術講演会　道路付帯設備（視線誘導設備）の視認性評価について

（北海道大学萩原亨先生）
平成12年10月12日　松下電工㈱ナイスショールーム4Fナイススタジオ2
（主催：視覚研究専門部会、共催：道路照明のビジビリティに関する研究調査委員会、視認性に関する研究調査委員会）
3．照明学会公開研究会　視認性の評価手法と生活環境における課題
平成14年3月18日　北区北とぴあ第2研修室
（主催：視覚研究専門部会）

1.3. 報告書内容の概要

この報告書は、視認性に関する上述の研究調査活動の内容を整理し、まとめたものである。基本的な構成としては、視認性に関する基礎的事項を示した後に、具体的ないくつかの課題について、その詳細を述べるという手順を追っている。各章の概要は以下の通りである。

この第1章では、本委員会の目的と構成、活動内容などについて述べている。第2章（主査：岩井）では、視認性の基本的概念に始まり、視認性の評価に対する課題についてふれ、さらに視覚特性との関係や評価法の概念を述べた後、高齢者を視野に入れた視認性に関する具体的な研究について紹介している。第3章（主査：岡嶋）は、可読性調査班の活動内容をもとにまとめたもので、文字や文章の読みやすさについて基礎的研究の動向や新たな評価法の紹介などを行っている。第4章（主査：舟川）は、操作パネルの視認性調査班の活動内容をもとにまとめたもので、操作パネルに用いられるVDT表示の規格と視認性との対応をまとめるとともに、照明との関係における問題や表示における具体的な問題について紹介した後に、視認性の観点からVDT作業環境についての提言を行っている。第5章（主査：佐藤）は、道路環境の視認性調査班の活動内容をまとめたもので、まず道路環境での視認性を対象とした研究を概観し、次に自動車照明や道路標識の規格についてその特徴と問題点を述べた後、視認性の観点から道路環境についての提言を行っている。

1.4. 謝辞

当該委員会は、照明学会視覚研究専門部会の提案により発足し、円滑に研究調査活動を行うことができました。関係者の方々には、そのご支援とご協力に心より感謝いたします。

また、第6回本委員会開催にあたりご協力いただいた、松下電子工業㈱照明社の皆様、および建築学会近畿支部の皆様に感謝します。さらに、本委員会にお越しいただき、貴重な講演をしていただいた関西大学原直也先生、松下通信工業㈱小濱朋子様に感謝します。

（氏家弘裕）

第２章　視認性研究の概略と基盤的既往研究

2.1. 視認性に関する用語とその概念

視認性とは一般に対象の見やすさのことであるが、そこにはさまざまな概念が含まれる。また、視認性に関わる用語も数多く、様々な場面で時に複数の異なる意味で利用されていることもある。ここでは、視認性に関わる用語について、その定義や意味について改めて検討する。

視認性という言葉はJIS Z8113照明用語において、「対象物の存在又は形状の見えやすさの程度」と定義されている。すなわち、対象物の詳細な形状は不明だが、そこに存在しているということがわかるような見えの程度と、対象物の詳細な形状がわかるような見えの程度とが共に概念として含まれているわけで、比較的広い意味で対象物の見やすさの程度を表すものといえる。この他の用語としてこれ以上の広い意味をもつものが特に見あたらないため、ここでは、視認性に関わる用語の概念を包括するものとして、「視認性」という語を用いることとする。視認性に関わる用語とその意味を表2-1にまとめた。

個々の用語の具体的意味については表中の説明に譲るとして、これらの語がどのように分類されるか、いくつかの点から考えてみたい。まず、視対象が任意なもののうち、視認性のように比較的広い意味をもつものとして、可視性があげられる。電気専門用語集「照明」[1]によれば、視認性と同様の定義がされている。しかしながら、「可視」という語からすると、見えるかどうかということであり、どちらかというと検出閾にかかわる概念ともいえる。次に、視対象がある程度明確になっているものとして、視力と可読性とがあげられる。視力の場合、計測する際の視対象としてランドルト環やスネル文字、フーコー格子などが用いられるし、可読性の場合、視対象は文字や記号である。また、視認性として扱っている内容が見えるか見えないかの閾値レベルのものと、ある程度見えている状態での見やすさに関わる閾上レベルのものとに分類できる。前者については、検出閾や視力、可視性、視程などがあり、後者については、誘目性や可読性がある。ただし、可読性については、閾値レベルで読める読めないを含んでもいる。

一方、視認性の用語を視野との関係でとらえると視認性における関わりが分かりやすくなる(図2-1)。人間の視野は、中心視野（または中心窩)、すなわち視線を向けている方向の視野が最も解像度が高く、周辺視野ほど解像度が低下する。従って、文章を読んだり細かいものを見たりする際には、視線をその対象の方向に向けて見ることになる。また、視野の周辺で目立つものに気づくとこれに視線を向けることで、より詳細に見ようとする。それ故に、可読性のように文

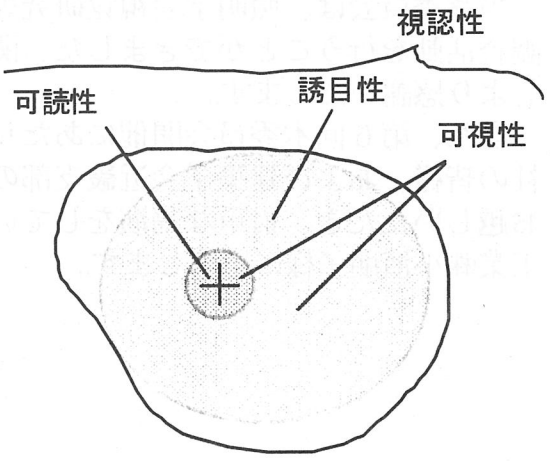


図2-1. 視認性の概念と視野との関係

表 2-1. 視認性に関する用語

日本語	英 語	意 味	関連する事項
検出閾	Detectability	刺激閾・・・刺激の存在がやっと知覚できるときの刺激の大きさ (JIS Z8113照明用語) 識別閾・・・2つの刺激がやっと区別して知覚できるときの両刺激の量的又は質的な差 (JIS Z8113照明用語)	光覚閾, 増分閾, コントラスト閾
視 力	Acuity	ある特定のコントラストにおける視覚の空間分解能	コントラスト, 照度, MTF
誘目性	Conspicuity	周辺環境の中でどのくらい目立って見えるのかを示す, 光源または対象物の性質 (電気専門用語集「照明」)	ポップアウト, 前注意過程, 図地の分節化
可読性	Legibility	文字, 数字, 記号などの読みやすさの程度 (電気専門用語集「照明」) 文字又は記号の読みやすさの程度 (JIS Z8113照明用語) 文字, 記号又は図形の読みやすさの程度 (JIS Z8105色に関する用語)	視力, 読書
可視性	(Visual) Detectability	可視度・・・対象物の存在, または形状の見やすさの程度 (電気専門用語集「照明」)	検出閾, VL, VEL, RA
視認性	Visibility	対象物の存在又は形状の見えやすさの程度 (JIS Z8113照明用語) 対象物の存在又は形状の見やすさの程度 (JIS Z8105色に関する用語)	
視 程	Visibility	大気の透過率	

字や記号の見やすさを考えるということは、中心視野における視認性を考えることである。これに対し、誘目性のように、対象の目立ちやすさを考えるということは、主に視野周辺での視認性を考えることである。なお、可読性や誘目性以外では、一般に視程や視力は中心視野である場合が多く、検出閾や可視性などは中心視野、周辺視野の区別は特にないと考えてよい。

以上の概念を、閾値・閾上レベルの軸と視野位置の軸との２次元空間に分布させてまとめたものを図 2-2 に示す。

（氏家弘裕）

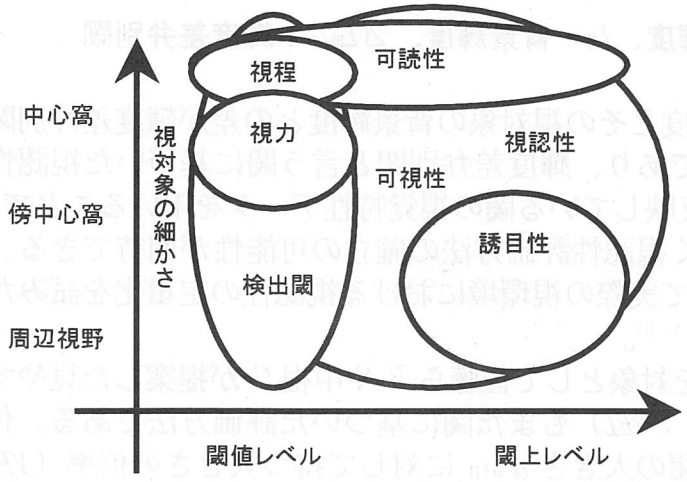


図 2-2. 視認性用語の二次元的分類

参考文献

（1） 電気学会 電気専門用語集 No. 13, 照明、電気学会・照明学会編、コロナ社, (1999).

2.2. 視認性の具体的課題とその対処法

携帯電話の液晶画面に代表されるように、情報の伝達方法が従来に比べ、非常に多様化して複雑化してきているこの時代においては、様々な表示媒体や様々な状況に応じて、臨機応変に対応できる視認性評価方法の確立が、今まで以上に望まれている。視認性は様々な要因によって変化することが知られているが、これは、それら要因によって視覚特性が変化するためである。従って、視覚特性を視認性の評価に反映させることで、臨機応変に対応できる応用範囲の広い視認性評価方法の確立が期待できる。ここでは、視覚特性を反映させた視認性評価方法の確立のために、以下の 3 つの課題を挙げ、それら課題に対する対処法を検討してみる。

1) 閾上レベルでの視認性の取り扱い
2) 高空間周波数情報だけでは決まらない視認性を取り扱い
3) 不均一な視野上での視認性の取り扱い

2.2.1. 閾上レベルでの視認性の取り扱い

視認性を定量的に扱った報告で最も代表的なものは、2.4.節にその詳細を述べるが、Blackwell[1] や Adrian[2] が提案した以下の式 (2-1)に示す輝度対比 C と輝度対比弁別閾 C_{th} との比をとり計算される VL (Visibility Level) である。

$$VL = C / C_{th}$$

$$= \left(\frac{\Delta L}{L_b}\right) \Big/ \left(\frac{\Delta L_{min}}{L_b}\right) = \frac{\Delta L}{\Delta L_{min}}$$

$$= |L_t - L_b| / \Delta L_{min} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2\text{-}1)$$

ただし、L_t：視対象の輝度、L_b：背景輝度、ΔL_{min}：輝度差弁別閾

すなわち、VL は視対象の輝度とその視対象の背景輝度との差が輝度差弁別閾の何倍あるのかを示した指標であり、輝度差弁別閾と言う閾に基づいた視認性評価方法である。視覚特性を反映している閾の視覚特性データを用いることで、様々な条件に対して応用の利く視認性評価方法の確立の可能性が期待できる。そして実際に、この VL を用いて実際の視環境における視認性の定量化を試みた報告は数多く見られる[1) 2) 3) 4) 5) 6)]。

また、「文字の読みやすさ」を対象として佐藤ら[7)] や中根[8)] が提案した見やすさレベル (Visual Ease Level：VEL) もまた閾に基づいた評価方法である。佐藤らは、視対象の大きさ α が閾の大きさ α_{min} に対して持つ大きさの倍率 ($VEL = \alpha / \alpha_{min}$) を用い、そして、中根は視認閾を与える背景輝度 (L_{bmin}) に対する実際の背景輝度 (L_b) が持つ倍率 ($VEL = L_b / L_{bmin}$) 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。

視認性には大きく分けて、「見える－見えない」（弁別閾）や「読める－読めない」（可読閾）と表現される閾レベルの視認性と、すでに見えて、読めているのであるが、それよりさらに上のレベルの「見えやすい－見にくい」や「読みやすい－読みにくい」と表現される閾上レベルの 2 種類が存在する。従来の研究では、これら 2 種類の視認性は共に、*VL* などの閾値に基づいた方法で定量的に取り扱われていた。そして、一連の既往研究報告[1)~8)]は、視認性は閾での視覚特性データを用いて定量的に扱うことが可能であることを示していた。閾は「見える－見えない」という判断基準のもとで得られるものであるため、比較的測定がしやすく、様々な条件に対するデータが豊富に存在する[1)]。そして例えば、ある A と言う条件のもとで「見やすい」という評価の得られる視対象の輝度が *VL*=20 を与える輝度であると分かったとすると、別の条件 B で同様の「見やすい」という評価を得るための輝度は、その条件 B での閾を用いて *VL*=20 となる輝度を計算すれば求めることができる。実際にこの仮説が成り立てば、閾値に基づく視認性評価方法は非常に応用の利く評価方法であると言える。

しかし、実際にはこの仮説は成立しないことが多い。例えば、図 2-3 は Iwai&Sakaguchi[5)] の行った実験結果の一部であり、交通表示灯の見え方に対して、「交通表示灯としての最低限の明るさ」という評価を与える *VL*（以下、所要 *VL* と呼ぶ）と背景輝度との関係のうち、緑の表示灯に対して得られた結果を示したものである。図 2-3 では、背景輝度の増加に伴い所要 *VL* の値が減少していく傾向を見ることができる。この結果を前述の仮説に当てはめると、条件 B で同様の「見やすさ」を得るための *VL* に、条件 A の時の *VL*=20 は使えないということになる。このような同じ視認性評価を得るための閾値に対する所要倍率が異なっているという報告は他にも見られる[7)]。閾値を用いて視認性評価を定量的に扱うためには、その条件における *VL* などの閾値に対する所要倍率を別途求める必要があることが分かる。

視認性に関係の深い視覚特性であるコントラスト感度特性においては、閾と閾上でその特性が異なっていることが知られている[9)]。このことは、例えば、*VL* を用いて閾上の視認性を検討した場合、条件 C のもとでは *VL*＝5 で必要な視認性評価を満足するのに、別の条件 D では *VL*＝10 にならないと同等の視認性が得られないという現象が生じることを示唆している。

すなわち、図 2-3 の結果は、「閾上レベルの視認性を閾レベルの視覚特性に基づいて検討した」ため、視覚特性を反映させるために背景輝度の関数である閾値データを用いて *VL* を算出したのにも関わらず、背景輝度毎に所要 *VL* が異なると言う結果になったと考えることができる。このよ

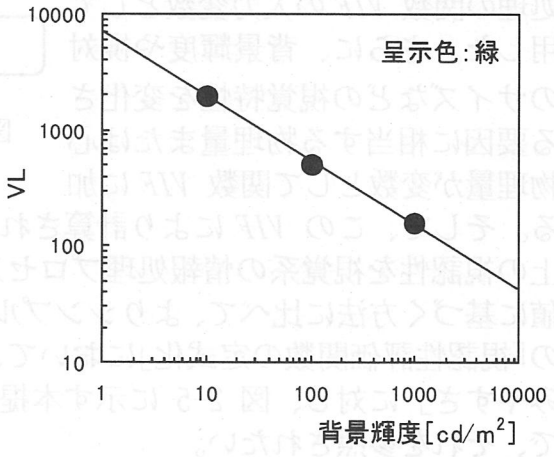


図 2-3.　「交通表示灯としての最低限の明るさ」という評価を与える背景輝度と VL との関

うに、閾値データを用いて閾上レベルの視認性評価を行うと、条件に応じて計算に用いる閾値データを必要とするだけでなく、必要な視認性を得るための *VL* 等の閾値に対する所要倍率も条件毎に検討する必要が生じ、視認性評価のプロセスを複雑なものにしてしまう。

また、*VL* において輝度差と輝度差弁別閾とを比較させるような比較プロセスは、もともと実際の視覚系には存在しないことも、閾上レベルの視認性を閾値に基づき行うことの問題点であると言える（図 2-4 参照）。

以上述べてきたように、本来は閾レベルの視認性を扱うために測定された閾値データを閾上レベルの視認性評価に適用することには問題がある。そこでここでは、閾値データを使用しない新しい閾上レベルの視認性評価方法を提案する。今回提案する新しい視認性評価方法のプロセスを図 2-5 に示す。図 2-5 では、*VL* に代わる新しい視認性評価関数として、視対象と背景との輝度差 ΔL の変換関数を基本とした *VIF*（Visibility Index Function）を用いている[10]。

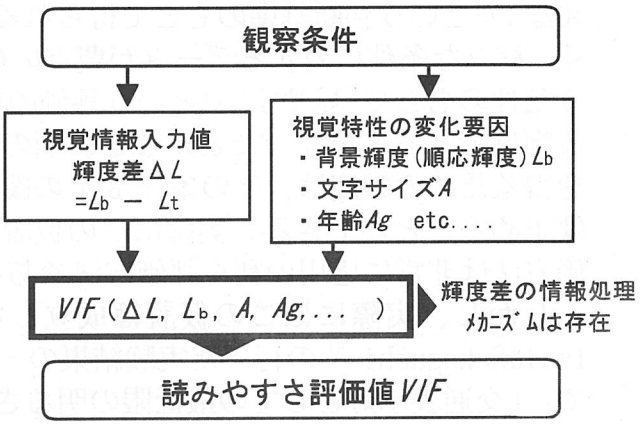


図 2-4.　閾データを用いない新しい視認性評価方法のプロセス[10]

視対象と背景との輝度差から生じる境界、すなわち、エッジ情報は、視対象の詳細を認識する上で必要な情報であり、視対象の視認性に強く影響を与える。また、ON 中心型細胞など輝度差を情報処理するプロセスが、視覚系の初期段階に存在していることは良く知られている[11]。以上のことから、ここでは輝度差 ΔL を視覚情報処理の関数 *VIF* の入力変数として採用した。さらに、背景輝度や視対象のサイズなどの視覚特性を変化させる要因に相当する物理量または心理物理量が変数として関数 *VIF* に加わる。そして、この *VIF* により計算された値により視認性を評価することで、閾上の視認性を視覚系の情報処理プロセスに従った形で評価することができ、閾値に基づく方法に比べて、よりシンプルで幅広い応用展開が期待できる。3-4. 節の「視認性評価関数の定式化」において、閾上レベルの視認性である「文書の読みやすさ」に対し、図 2-5 に示す本提案の視認性評価方法の妥当性を示したので、それを参照されたい。

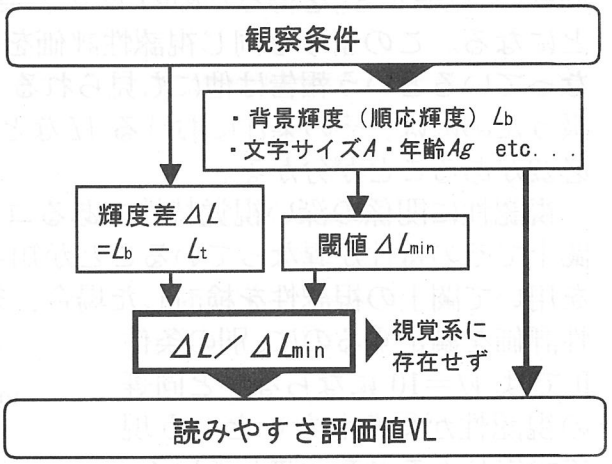


図 2-5.　閾に基づく視認性評価方法のプロセ

2.2.2. 高空間周波数情報だけでは決まらない視認性の取り扱い

従来の視認性に関する研究の多くは、文章の読みやすさや、路上落下物を想定した視対象の見え方など、詳細な情報の視認性が要求されるものを対象にしたものが多かった。視覚特性を示すデータとして、図 2-6 に示すような空間周波数とコントラスト感度との関係を示したコントラスト感度特性[12)]が様々な条件に対して測定されているが、文章の読みやすさなどの詳細な情報に対する視認性は、高空間周波数領域の特性と関連が深い視認性であると言える。

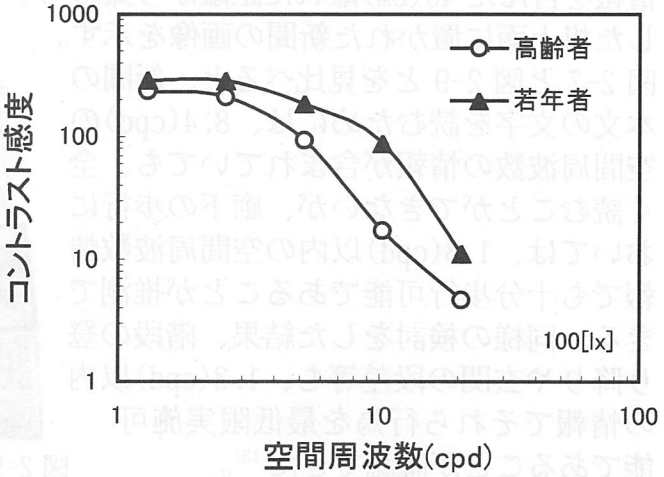


図 2-6.　照度 100(lx)下での高齢者と若年者の空間周波数特性[12)]

図 2-7 は、図 2-6 のデータに示される周波数の中で最も低い空間周波数である 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たものである。画像は、廊下歩行時の視野を撮影して得たものである。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、図 2-8 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)。

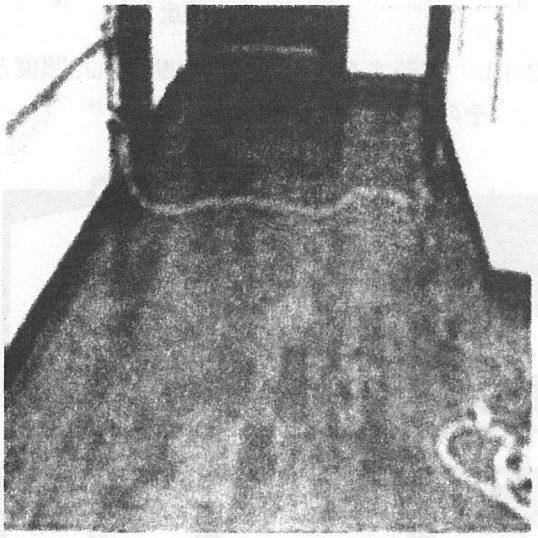


図 2-7.　1.3(cpd)以上の空間周波数領域の情報がカットされた廊下観察画像

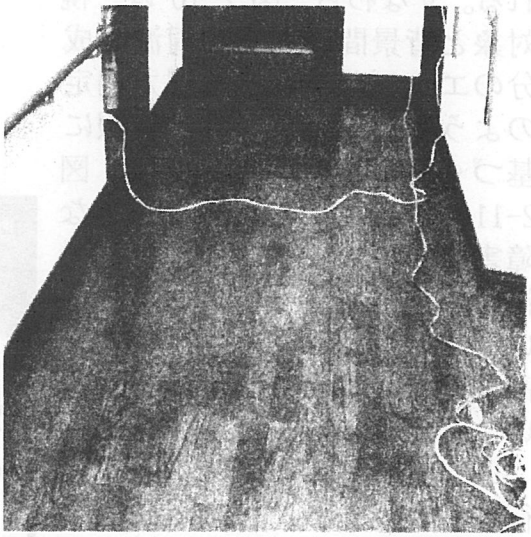


図 2-8.　8.4(cpd)までの空間周波数領域の情報が含まれた廊下観察画像

そして、図 2-9 には、8.4(cpd)までの情報を含んだ 40(cm)離れた距離から撮影した机上面に置かれた新聞の画像を示す。図 2-7 と図 2-9 とを見比べると、新聞の本文の文字を読むためには、8.4(cpd)の空間周波数の情報が含まれていても、全く読むことができないが、廊下の歩行においては、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推測できる。同様の検討をした結果、階段の登り降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[13]。

図 2-9.　8.4(cpd)までの空間周波数領域の情報が含まれた新聞を読むときの視野画像（観察距離 40cm）
（1999 年 1 月 13 日の産経新聞朝刊記事より）

図 2-10 は非常灯の所要照度を高齢者（平均 74 才）と若年者（平均 34 才）に対して行った実験結果を示したものであり、図 2-11 に示す廊下において被験者が調整した「避難するのに必要」と判断された照度と、その照度において測定したランドルト環に対する視力との関係を示したものである[14]。図 2-10 より、避難するのに必要と判断された照度に対して、高齢者と若年者間で有意差は見られないが、視力においては有意差が見られる。すなわち、図 2-10 は、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視力測定のような高周波数成分の情報に基づく視認性評価方法では、図 2-11 に示すような比較的大きな障害物が置いてある廊下歩行の視認性を説明することができないことを示しており、廊下歩行は高空間周波数情報を必要としないことを示唆している。

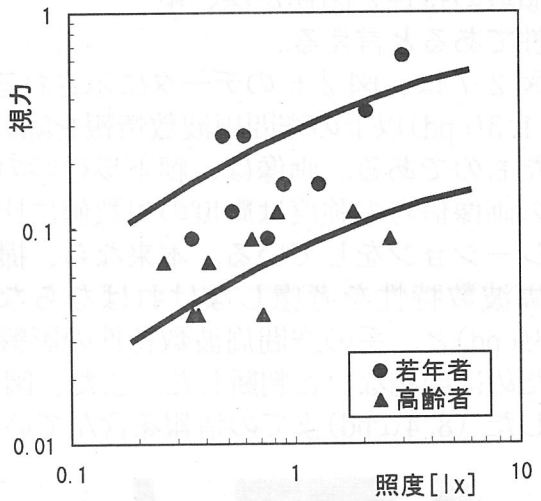


図 2-10.　避難するのに必要と判断された照度とその照度における視力との関係[14]

以上述べてきたように、廊下歩行などの行為は、文章の読みやすさなどの詳細な情報に対する視認性とは異なり、高い空間周波数

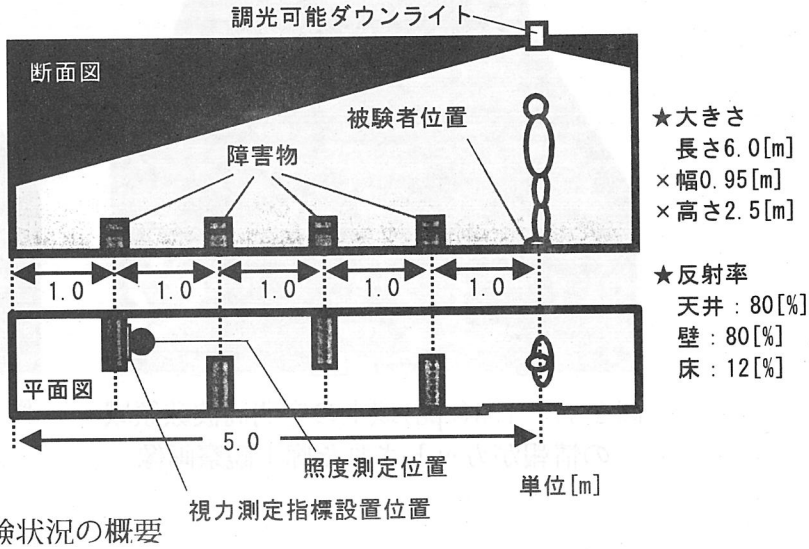


図 2-11.　図 2-10 の結果を得た実験状況の概要

情報を必要としない。このような高空間周波数情報を必要としない視認性（このような見え方に対して「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）に対してまで、従来から行われている視力測定や、視角 10 分程度の大きさの視対象に対する弁別閾などの、高空間周波数領域の情報に対する視覚特性を用いて評価することには問題があると考える。従って、様々な行為に対する視認性を検討するためには、それら行為に必要な照度などの所要要件と、図 2-6 に示すような幅広い空間周波数に対して測定した視覚特性との関連性を明らかにする必要があり、今後の課題である。

2.2.3. 不均一な視野上での視認性の取り扱い

実際の環境での視認性は、不均一な視野のもとで評価されている。しかし、実際に視認性に関わる視覚特性データは、均一な視野のもとで得られているものがほとんどである。従って、不均一な視野の条件と同じ視覚特性の得られる均一な視野の条件への変換ができれば、不均一な視野における視認性を、均一な視野から得られた視覚特性データを用いて評価することができる。

Narisada[15] は、等価光幕輝度と背景輝度とから得られる輝度差弁別閾と、中心窩順応輝度から得られる輝度差弁別閾とを加算することで、その視野に対する輝度差弁別閾を求めることができるという輝度差弁別閾の加法性から [16]、不均一な視野に対する輝度度差弁閾を算出する方法を開発した。この方法を用いれば、不均一な視野と同じ輝度差弁別閾が得られる均一な視野の条件を求めることができる。

また、中村は、特定粗さの輝度分布を抽出する視覚特性を反映したフィルタを開発し [17]、このフィルタを用いて不均一な輝度分布における輝度の対比を定量的に扱う方法を開発した [18]。この方法を用いれば、不均一な視野に対して、ある特定粗さ（空間周波数に相当）に対する対比を明確にできるので、図 2-6 の空間周波数に対するコントラスト感度特性などから得られる、それら特定粗さに対応した視覚特性データを用いて、対象とする不均一な視野に対する視認性を評価できる可能性が期待できる。

以上のように、不均一な視野の条件と均一な視野の条件とを結びつける理論は明らかになりつつある。しかし、実際の不均一な視野で得られた視認性評価データを、これらの理論により説明できたという報告はまだ見られない。実際の視環境に対するこれら理論の妥当性の検証が今後の課題である。

（岩井　彌）

参考文献

1） CIE Publication No.19/2.1 and No.19/2.2,” An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance”(1981).

2） W.Adrian:” Visibility of Targets:Model for Calculation”, Light. Res. Technol., 21-4, pp.181-188(1989).

3） W.Adrian and R.Gibbons:” Fields of Visibility of the Nighttimer

Driver", Progress in Automobile Lighting 97, pp.8-21(1997).
4) 田渕義彦:「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).
5) W. Iwai and T. Sakaguchi:" Brightness of Self-luminous Delineators in Different Colors", J. Illum. Engng. Soc., 27-1, pp.49-52(1997).
6) Narisada, K., T. Saito, Y. Karasawa:" Perception and Road Lighting Design", Proceeding of SANCI, pp.83-86(1996).
7) 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 ー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).
8) 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).
9) M. A. Georgeson and G. D. Sullivan:" Contrast Constancy : Debluring in Human Vision by Spatial Frequency Channels", J. Physiology, 252, pp.627-656 (1975).
10) 岩井 彌, 岡嶋克典:「文章の読みやすさの定式化 ー視認性評価関数の導出ー」, 照学全大, p.212 (2001).
11) D. Marr and E. Hildreth:" Theory of edge detection", Proceedings of the Royal Society of London, B, 207, pp.187-217 (1980).
12) 岩田三千子, 岡嶋克典, 氏家弘裕:「照度レベルに依存するコントラスト感度の加齢変化」, 照学誌, 85-5, pp.352-360 (2001).
13) (社)照明学会:「高齢者の視覚特性を考慮した照明視環境の基礎検討」, 照明学会編JIER-061 (1999) 中の第6.2節 (pp.105-111).
14) 岩井 彌, 斎藤良徳, 小原和輝, 井上容子, 神 忠久:「非常灯の所要照度への加齢の影響」, 照学全大, p.118 (1999).
15) K. Narisada:" Visual Perception in Non-Uniform Fields", J. Light & Vis. Env., 16-2, pp.81-88(1992).
16) 武内徹二, 成定康平:「中心窩順応輝度と光幕輝度とに対する輝度差弁別閾の加法性」, 照学誌, 80-8A, pp.527-531 (1996).
17) 中村芳樹, 乾正雄, 沢田敏実:「輝度分布の表現法に関する研究」, 日本建築学会計画系論文報告集, 431, pp.1-8 (1992).
18) 中村芳樹:「光環境における輝度の対比の定量的検討法」, 照学誌, 84-8A, pp.522-528 (2000).

2.3. 視力、CSF と視認性

人が対象を視覚によって補足するとき、対象それ自体が光を発する場合をのぞいて、光源が別に必要となる。これにより、対象の視認性には、光源の特性、対象の特性、さらに視覚の特性が関わることになる。光源の特性には光強度や分光特性、時間特性、対象物の特性には分光反射特性やパタンの明るさや色およびこれらの空間周波数特性などが主なものとしてあげられるが、これらによって視対象の物理的特性が決定され、これを補足する視覚の特性によって見えるかどうか、見やすいかどうかの視認性が決まることになる。

視覚の特性としては、視覚機能の諸性質を明らかにするとの観点から、さまざまなパラメータが定義され、その値や関数などが報告されてきた。例えば、いわゆる分光感度としての分光視感効率や、分解能としての視力、さらには空間周波数特性としてのコントラスト感度関数（CSF）や色弁別、視野特性などがあげられる。

視認性を考える場合、視覚機能の限界と困難さの程度との２つの側面から考えることが必要となる。すなわち、見えるか否かの限界を示す閾値と、どれ位見やすいかの程度を調べなければならない。このうち閾値に関するものとしては、視対象の大きさをパラメータとする場合と、視対象のコントラストをパラメータとする場合がある。前者については、人がどの程度まで見えているかを示す一つの指標としてよく利用されるものに、視力がある。一方、視対象のコントラストをパラメータとしたものとして、コントラスト感度特性があるが、特に視対象を繰り返しの正弦波パタンとし、その空間周波数をもう一つのパラメータとして、コントラスト感度関数（CSF）による空間周波数特性を求めることが一般に行われる。視力は、人の視覚がどの程度細かいものまで見分けられるかを示すものといえるが、CSF による空間周波数特性は、細かいものだけでなくさまざまな粗さの視対象に対する感度を示したものといえる。ここでは、これらの特性について整理する。

視力は、いわゆる視覚の空間分解能を表すものであり、視対象の詳細部分の識別能力についての量的記述であるといえる。視力については、最小視認閾、最小分離閾、最小可読閾、副尺視力の４種に大別されるとする説明[1)]もあるが、ここでは最小分離閾と最小可読閾に関わるものについて考える。

視力にはいくつかの測定法があるが、日本の医療機関等で通常利用されているのは、ランドルト環による視力である。これは、図 2-12 に示すような”C”の切り欠きが、上下左右およびその中間の計八方向のどちらを向いているかを見分けるもので、見分けられる限界のきり欠きの大きさを”分（min）”を単位とする視覚サイズで示したときの逆数をもって視力値とするものである。従って、視力 1.0 とは、視覚サイズが 1.0 分のきり欠きの方向まで見分けられることを意味する。

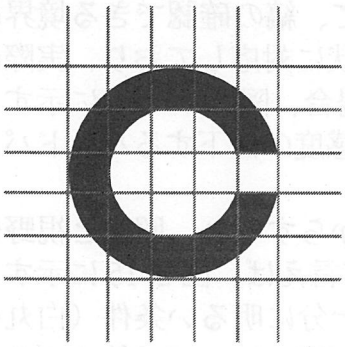


図 2-12. ランドルト環

ランドルト環以外にも、スネル文字や文字フーコー格子（図 2-13）などがあり、視力値の算出方法

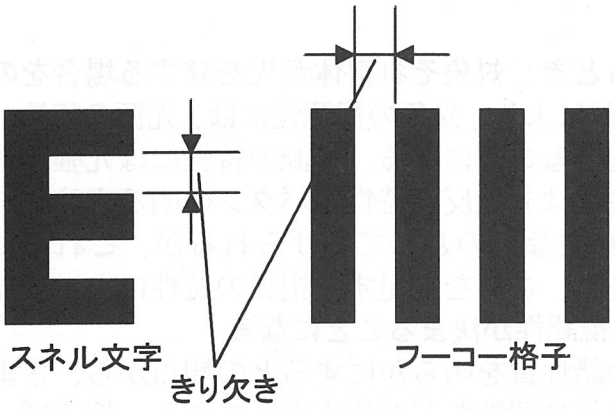


図 2-13. スネル文字とフーコー格子

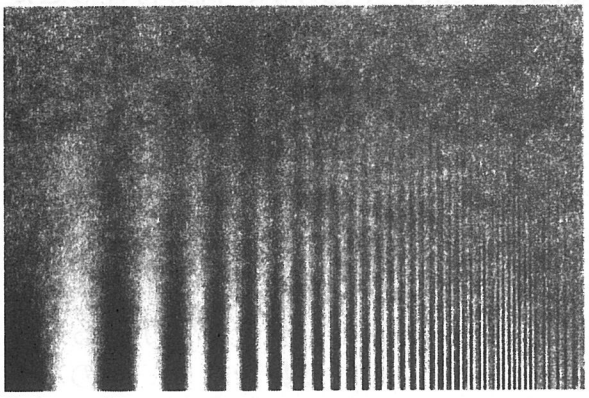


図 2-14. Campbell-Robson チャート

としてはランドルト環と同じく見分けられる限界のきり欠きの大きさ（min）の逆数である。ただし欧米では、一般には視力を 20/20 などと表現することが多い。これは、標準視力（上述の言い方でいうところの視力 1.0）の観察者が 20 フィートで知覚できる幅を 20 フィートから知覚できたという意味である。

次に CSF については、1960 年代になって言われるようになってきた人間の視覚系での情報処理様式に関連する。視覚系には、さまざまな対象による網膜像の明暗の変化を、空間周波数成分に分解して処理しているとされ [2,3]、視覚科学分野では現在主流の考え方となっている。従って、視覚の特性について、空間周波数特性を調べることは基本であり、近年では、緑内障や白内障などの疾病を調べるうえでも、一つの有効な手段となってきている。空間周波数特性は、さまざまな粗さの正弦波状の輝度変化をもつ縞に対して、縞の見える閾値をコントラストに対して調べることで測定される。その閾値の逆数をもってコントラスト感度とし、通常は空間周波数に対するコントラスト感度の関数をもって空間周波数特性とよぶ。

例えば、図 2-14 は Campbell-Robson チャートと呼ばれるものであるが、水平方向では右方向へ縞の空間周波数が高く、垂直方向では上方向へコントラストが小さくなっている。この図を適度な距離において観察すると、中央やや左の縞が最も低いコントラストまで見ることができ、その左右方向では徐々に縞の確認できるコントラストが高い方向に向かう。従って、縞の確認できる境界は山型の輪郭形状となるが、これは CSF の一般的な形状に対応しており、実際に十分に明るい条件で中心視において CSF を測定した場合、図 2-16 (a)に示すように、3.0～5.0 cpd 付近にピークをもちその両端で感度の低下するバンドパス型の形状を示す。

これら視力と空間周波数特性とは、視認性の観点からすると、照度と視野位置の影響を受ける点が重要である。まず視力について言えば、図 2-15 に示すように周辺視野では極端に視力が低下する。例えば、十分に明るい条件（白丸のシンボル）では、周辺 5 deg で中心視力の約 1／3、周辺 10deg では約 1／8 まで低下する。つまり視力が 1.5 あるという人でも、注視している点から、手を

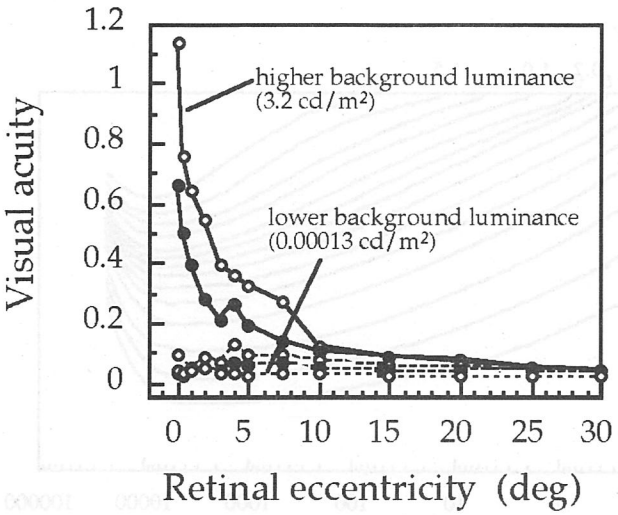


図 2-15. 視力に対する明るさおよび周辺視野提示の影響（Mandelbaum et al, 1947[4]）

伸ばして握りこぶし１つ分（約８deg）も離れれば、視力は 0.3 程度にまで低下してしまうのである。また明るさの影響も大きく、対象の輝度が極端に低下すると、中心でも周辺でも視力はほとんど一定で 0.1 以下に低下する。これらとほぼ同様のことは、空間周波数特性についても生じる。図 2-16(a)では、明るさが低下するほどピークとなる周波数が低下し、また全体の感度も低下していることがわかる。なおこの図では、最も高い感度を有しているのは、網膜照度が 900td のもので、最も低い感度は、0.0009td の下で測定したものであり、この間、網膜照度は 1/10 ずつ変化している。次に図 2-16(b)では、周辺視野になるほど、明るさの低下と同様に、ピークとなる周波数が低下し、また全体の感度も低下している。この図では、最も高い感度を有しているのは、視野位置が中心窩のもので、最も低い感度は、周辺視野 30deg で測定したものであり、この間視野位置は、1.5, 4, 7.5, 14 としている。これらより、照度の低下も周辺視も、高空間周波数での感度が極端に低下し、ある程度感度の存在する領域は、低周波数領域へと遷移し、従って細かいものを見分けることが困難になることがわかる。

視認性に関してこれを決定する重要な要素に、いわゆる明視三要素と呼ばれるものがある。これは、大きさ、明るさ、コントラストを指すものであり、一

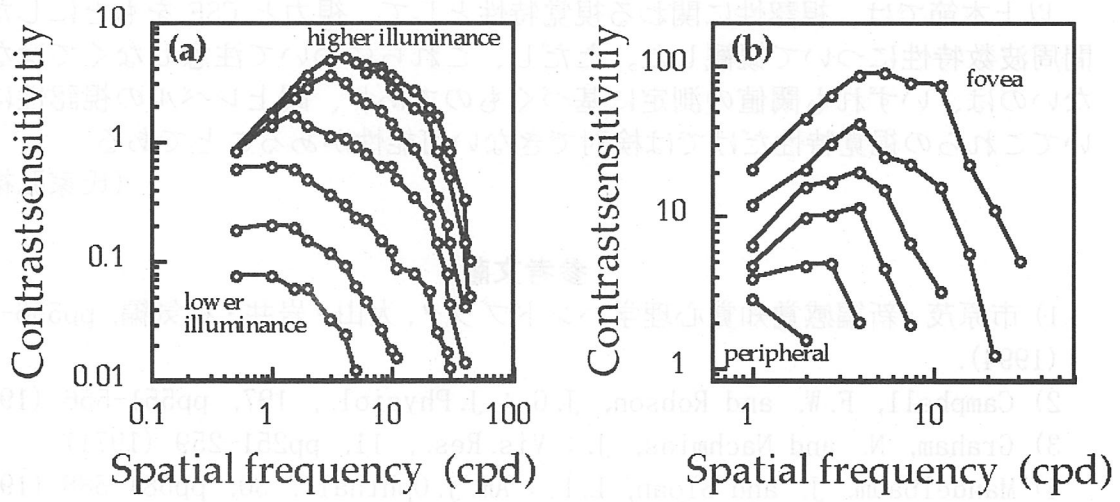


図 2-16. 空間周波数特性

(a) 照度レベルによる影響（van Nes&Bouman, 1967[5]）、(b) 周辺視野提示による影響（Rovamo et al, 1984[6]）

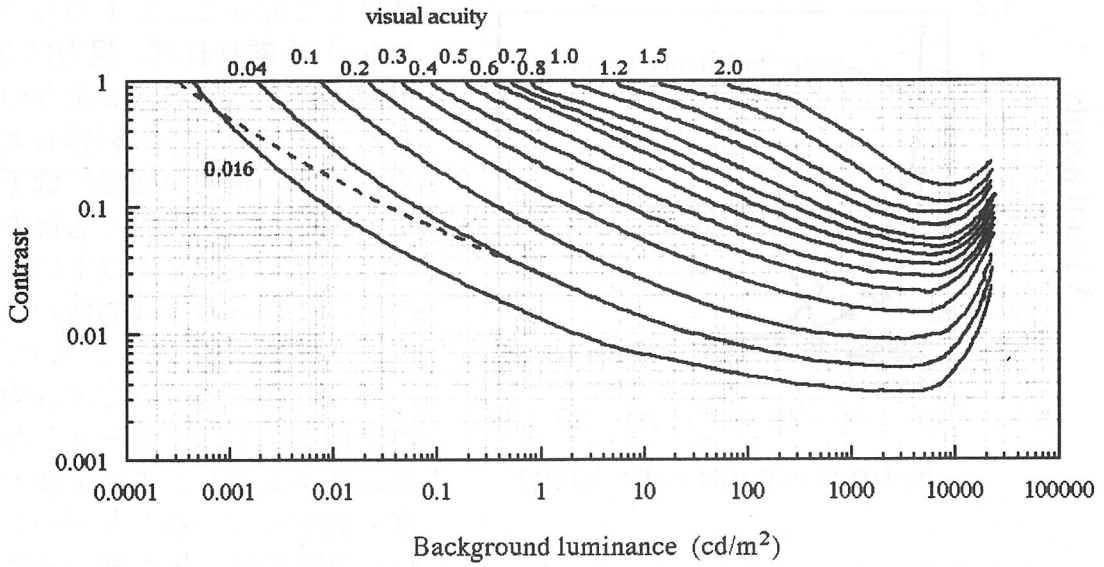


図 2-17. 標準等視力曲線（中根&伊藤, 1975[7]に基づく）

般的には大きいほど、明るいほど、コントラストの高いほど見やすいが、日常生活環境における視認性を考える上では、これら三要素が複合的に組み合わされた場合を把握しておく必要がある。中根と伊藤（1975）は、視力を測度として、明るさとコントラストに対する、等視力曲線を報告している（図 2-17)。彼らは、調光可能な実験室において、背景輝度が小さく、視対象（ランドルト環）が確認できない状態から、背景輝度を徐々に大きくしてランドルト環が確認できる状態での背景輝度を求めている。

このグラフでは、ある視力に対する１つの曲線の上方領域に相当する背景輝度とコントラストの組み合わせでは、その視力値以下のランドルト環が確認可能であることを意味する。従って、詳細な部分の検出閾に関わる視認性については、この等視力曲線をもとにすることで予測可能となる可能性がある。

以上本節では、視認性に関わる視覚特性として、視力と CSF をもとにした空間周波数特性について概観した。ただし、これらについて注意しなくてはならないのは、いずれも閾値の測定に基づくものであり、閾上レベルの視認性についてこれらの視覚特性だけでは検討できない可能性があることである。

（氏家弘裕）

参考文献

1) 市原茂：新編感覚知覚心理学ハンドブック, 大山・岩井・和気編, pp556-558 (1994).
2) Campbell, F.W. and Robson, J.G.: J.Physiol., 197, pp551-556 (1968)
3) Graham, N. and Nachmias, J.: Vis.Res., 11, pp251-259 (1971)
4) Mandelbaum, J. and Sloan, L.L.: Am.J.Ophthal., 30, pp581-588 (1947)
5) van Nes, F.L. and Bouman, M.A.: J.Opt.Spc.Am., 57, pp401-406 (1967)
6) Rovamo, J., Virsu, V. and Nasanen, R.: Nature, 271, pp54-56 (1978)
7) 中根芳一, 伊藤克三： 日本建築学会論文報告集, 229, pp101-109 (1975)

2.4. VL の概念とその応用

2.2.1.節でもその概要を述べたが、VL（Visibility Level）は、視認性を定量的に扱う指標として最も代表的なものである。VL の概念は、式(1)または式(2)に示すように、視対象の輝度 L_t とその背景の輝度 L_b との輝度差 ΔL または輝度対比 C と、輝度差弁別閾 ΔL_{min} または輝度対比弁別閾 C_{th} との比をとり、これによって視認性を評価しようとするものである[1)]。

$$VL = \Delta L / \Delta L_{min} \quad \cdots\cdots (1)$$

$$VL = C / C_{th} = \left(\frac{\Delta L}{L_b}\right) \Big/ \left(\frac{\Delta L_{min}}{L_b}\right) = \frac{\Delta L}{\Delta L_{min}} \quad \cdots\cdots (2)$$

VL による視認性評価は、Blackwell が提唱し、その検討内容は CIE の報告書に詳細にまとめられている[1)]。この報告書では、次の(3)式に示す背景輝度 L_b の関数で与えられる輝度対比弁別閾 C_{th} を用いて VL を算出している。輝度差弁別閾 ΔL_{min} は、$\Delta L_{min} = C_{th} \times L_b$ で求めることができる。

$$C_{th} = \frac{1}{1.555 \times [(1.639 / L_b)^{0.4} + 1]^{-2.5}} \times 0.0923 \quad \cdots\cdots (3)$$

ただし、この式(3)に示される輝度対比弁別閾 C_{th} は下記表 2-2 の条件の下で得られたものである。

表 2-2　輝度対比弁別閾 C_{th}[1)] の測定条件

内容	条件
視対象の形状	円形
視対象の大きさ	視角 4 分
視対象の呈示時間	0.2 秒
視対象の呈示場所	視線中心（中心窩中心）
観察者の年齢	20 歳代
観察者の眼の順応状態	均一な視野の 背景輝度に順応
観察者の予知の程度	視対象の呈示位置と 呈示タイミングを把握

輝度対比弁別閾または輝度差弁別閾は、様々な条件によって変化することから、視認性を評価する視環境に応じて適切な輝度対比弁別閾または輝度差弁

別閾を選択する必要がある。

例えば、輝度差弁別閾に基づき道路照明の視認性を検討した報告[2) 3) 4)]（詳細は5.4.2. 節参照）では、表2-3に示すように、実験室で行われた輝度差弁別閾を得た実験条件[5)]と、道路照明におけるドライバーの路上落下物に対する視認条件とが一部異なっているために、条件の違いにより生じる輝度差弁別閾の増分比を補正係数として、実験室で得られた輝度差弁別閾に乗じて実際の視環境における輝度差弁別閾を求めている。そして、それら輝度差弁別閾を用いて、道路照明の視認性検討のための VL を算出している。

具体的には、道路照明設計では安全性の観点より100m先から20cmの大きさの路上落下物を視認できることが必要であることから[6)]、道路照明において視認性を検討するための VL は、100m先から20cmの大きさの視対象を観察した時の視角サイズ7分に対して得られた輝度差弁別閾に基づき算出しなければならない。Adrianの研究[7)]では、視角10分の対象物に対して得られた実験結果を視角7分の対象物に適用するためには、輝度差弁別閾を2.5倍に増加させる必要があることを示している。

さらに、実験室での実験では、被験者は視対象の呈示位置とタイミングを把握しているが、実際の環境では、そのような情報をドライバーは予期していない。これに関しては、Roperら[8)]が行った実験の分析により、“予期していない対象物”を視認するためには、“予期していた対象物”に対して得られた輝度差弁別閾の3倍に増加させる必要があることを示した[9)]。

以上の検討により、先述の報告[2) 3) 4)]では、実験室で得られた輝度差弁別閾[5)] ΔL_{min} に、条件の違いにより生じる輝度差弁別閾の増分比 $K=2.5\times3=7.5$ を乗じて得られた輝度差弁別閾 $\Delta L_{min}'$（$=K\times\Delta L_{min}=7.5\times\Delta L_{min}$）を用いて、道路照明の視認性に対する VL（$=\Delta L/\Delta L_{min}'$）を算出している。

表2-3　実験室で得られた輝度差弁別閾の測定条件と、道路照明における路上落下物に対するドライバーの観察条件との違い。

内容	輝度差弁別閾測定条件[5)]	道路照明下の視認条件
視対象の大きさ	視角10分	視角7分
観察者の眼の順応状態	均一な視野の背景輝度に順応	不均一な視野に順応
観察者の予知の程度	視対象の呈示位置とﾀｲﾐﾝｸﾞを把握	視対象の呈示位置とﾀｲﾐﾝｸﾞに対して無知

このように、視認性を検討するためには、その対象物を視認する時の観察条件に応じて輝度差弁別閾を求める必要がある。以上の背景から、Blackwell[1)]やAdrian[7)]は、過去に他研究者により様々な条件下で測定された輝度差弁別閾測定データの分析から、視対象の視角サイズ、呈示時間、年齢、視対象が背景よりも高輝度である場合とその逆の場合、グレアなどの輝度差弁別閾値に影響を与える要因を反映させた輝度差弁別閾算出モデルを提案している。

よって、これら輝度差弁別閾算出モデルを用いて、視認性を評価したい視対象の観察条件下で得られる輝度差弁別閾を算出することにより、実際の視環境

における視認性を *VL* で検討することが可能となる。

ただし、2.2.節でも述べたように、この *VL* を用いて実際の視環境での視認性の定量化を試みた研究[1) 4) 7) 10) 11) 12)]では、視認性を定量的に扱う方法として *VL* の有用性が報告されてはいるものの、*VL* に代表される閾値に基づく視認性評価方法は、「見える－見えない」（弁別閾）や「読める－読めない」（可読閾）などと表現される閾レベルの視認性には適した方法であるが、それよりさらに上のレベルの「見えやすい－見にくい」や「読みやすい－読みにくい」などと表現される閾上レベルでの視認性に適用するのには、いくつかの問題が存在する。

従って、本節でも述べた道路照明における路上落下物の視認性に *VL* を適用するのは問題ないが、文章の読みやすさに代表される閾上レベルの視認性評価に *VL* を適用するのには注意が必要である。（岩井　彌）

参考文献

1) CIE Publication No.19/2.1 and No.19/2.2,"An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance",(1981)。

2) K. Narisada: " Blance between Energy, Environment and Visual Performance", An Invited Paper at the CIE Warsaw Session, Poland, CIE No.133, Proceedings of the 24th Session of the CIE, 1-1, pp.17-22 (1999)。

3) K. Narisada: "A Method to Balance between Energy, Environment and Visual Performance", Light & Engineering, 8-1, pp.13-22 (2000)。

4) K. Narisada, T. Saito, Y. Karasawa:"Perception and Road Lighting Design", Proceeding of SANCI, pp.83-86(1996).

5) M. Inohara et al.:"Luminance Contrast Threshold of Human Eyes Adapted to a Luminance Differentiated from that of the object background", Proceedings of CIE Kyoto Session(1979)。

6) CIE Publication No.61,"Tunnel Entrance Lighting - A Survey of Fundamentals for Determing the Luminance in the Threshold Zone -",(1984)。

7) W. Adrian.:"Visibility of Targets:Model for Calculation", Lighting Res. Technol., 21-4, pp.181-188(1989)。

8) V. J. Roper and E. A. Howard:"Seeing with Motor Car Headlamps", Trans. I.E.S.(New York), May, 417(1938)。

9) K. Narisada:"Perception under Road Lighting Conditions with Complex Surroundings。", J. Light & Vis. Env., 9-2,pp.5-14(1995)。

10)W. Adrian and R. Gibbons:"Fields of Visibility of the Nighttimer Driver", Progress in Automobile Lighting 97, pp.8-21(1997)。

11)田渕義彦:「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)。

12) W. Iwai and T. Sakaguchi:"Brightness of Self-luminous Delineators in Different Colors", J. Illum. Engng. Soc., 27-1, pp.49-52(1997)。

2.5. 高齢者に配慮した視認性研究

2.5.1. 視環境のユニバーサル・デザイン

近年、住宅や生活機器などのデザインにおいて、年齢・体格・能力・障害の有無などによる区別なく、誰もが使いやすいデザインであるといった意味を表すユニバーサル・デザインという言葉がさかんに使われている。広く総合的な視点で生活全体を見つめ直し、さまざまな場面において、できるだけ多くの人々に共通する要素を考えることにより、ユニバーサル・デザインの実現が可能である。

視環境のユニバーサル・デザインの第一歩は、高齢者を配慮の対象とすることから始まると言ってよい。とりわけ、不特定多数の人を対象とする公共空間の視環境デザインは、まず高齢者の視機能と視認能力の低下、体格と身体能力の特性などを知らなければならない。高齢者の視機能の低下原因で最も多いのが、水晶体が白く濁る白内障疾患である。また、網膜黄斑変性、緑内障、糖尿病網膜症などの罹患率も増え、視力障害、視覚障害の原因となる。合わせて、高齢者は腰曲がりや下肢障害による車いすの使用などの、体格と身体能力の特性による視認能力の変化も考えられる。

しかし、現在の公共空間における視環境は、このような高齢者の視機能と視認能力の低下が十分に考慮されているとは言いがたい。例えば、駅の運賃表や時刻表などは天井に届くほど高いところにあって、腰曲がりのために前かがみになった高齢者には立った姿勢で長時間見上げるのが困難である。最近は事前に運賃や目的地を確認せずとも、券売機のディスプレイ画面の中から項目を選択してお金を投入するといった方法が考えられているが、表示部が見えにくい、内容がわかりにくいといった声が聞かれる。加えて、高齢者は新しい物への適応、状況に対して機敏に反応する能力が乏しくなっているので操作が困難であることが指摘されている。

車いす使用の場合には、視線の位置が低いことや、車いすのフットレスト（足板）によって見ようとするものに十分に近づけないことを配慮した表示計画が望まれる。車いす使用者と会話をする時、大人はやや上体をかがめるか腰を下ろすと話しやすいが、案内表示はこの会話の状態を想定しなければならない。車いす使用者の視線の高さは、成人男子の場合床から110～120センチメートル位で、この視線高さから人やモノが障害にならないで見通せる位置に配置しなければならない。近づいて見ることができるように、フットレストが下にもぐりこめるような工夫も必要である。

案内表示の役割が特に重視される場所として、地下街があげられる。地下街ではランドマークとなるものが少なく、方向がわかり難いことが多い。しかし、高齢者を対象として実際に使われている 3 種類のサインの「わかりにくさ」について調査した結果[1)]、「文字が小さい」、「案内板が小さい」といった回答が多く寄せられた（表 2-4)。これらは明視条件の基本であり、その解決方法は実に簡単である。小さい文字は大きくすればよい。小さいと思われる案内板も、公共性を重視して広告宣伝物を減らしその分のスペースを使って大きくすればよ

い。そうすれば必然的に文字も大きくなる。外国の事例と比較してみるとわが国の案内表示はともかく小さい[2]。公共性が軽んじられていて、見た目の色使いや美しさだけをデザインのポイントとしているような感じがしてならない。

表 2-4　案内表示の問題点と指摘率（大阪梅田地下街の例）[1]

案内板	No.1		No.2		No.3	
	高齢	青年	高齢	青年	高齢	青年
文字が小さい	****	****	*	*	****	****
同地名で違う方向表示がある			**	**		
案内板の面が光っている	**	*	*			
案内板の面が暗い						
背景の光がまぶしい	*					*
案内板の色が目立たない	*	**	*		*	*
案内板が小さい	**	*			**	*
案内板の周りが乱雑			*		*	*

**** 80～100％　　*** 60～80％未満　　** 40～60％未満　　* 20～40％未満

加齢に伴う視機能の変化によって、高齢者に視覚障害の率が増加する。視覚障害者のうち、光を感じることができ視機能をある程度有する弱視の人が占める割合は大きい。わが国では視覚障害者の歩行を安全に誘導する手段として、点字ブロックの敷設が一般的である。弱視者にとっては、点字ブロックと床面の輝度および色の対比が確保されることで、視認性に基づいた誘導が可能である。また、点字ブロックのみならず、案内表示の文字やピクトグラムの視認性についても、地と図の輝度および色の対比によって視認性が向上する。

視覚障害者を対象として、M.Iwata[3]は視対象と背景との分かりやすい色の組み合わせを検討した。被験者は年齢 43～81 才の弱視者 31 名。A 4 サイズの大きさの背景紙中央に、幅 7.5 cmのラインが縦に配置された視標を作成して、視距離 1 mで提示し評価実験を行った。無彩色ラインと無彩色背景との組み合わせにおいて、視覚障害者が肯定的な評価をした比率と輝度対比との関係を示しめしたものが図 1 である。ここでの輝度対比とは次式により算定した。

輝度対比 C＝（Lmax－Lmin）／Lmax

Lmax：視対象と背景のうち大きいほうの輝度

Lmin：視対象と背景のうち小さいほうの輝度

図 2-18 より、照度 100 lx と 1000 lx の 2 条件において、顕著な違いはなく、輝度対比 0.5 以上で約 5 割、輝度対比 0.8 以上で約 8 割の人が肯定的な評価をしていることが読み取れる。

色の効果についても検討を行っており、有彩色背景における無彩色ラインの分かりやすさについて、100 lx の結果を図 2-19 に示す。左図が背景 10B 7／4 の場合、右図が背景 10Y R7／4 の場合である。図中の太い回帰直線が有彩色背景における無彩色ラインの分かりやすさを表すもので、無彩色どおしの組み合わせによる細い回帰直線よりも上方にあって、ラインの分かりやすさが向上す

ることが明らかである。

視環境のユニバーサル・デザインは、対象となる高齢者や視覚障害者の視認能力を考慮する事によって実現の方向に近づく。しかしながら、現段階では高齢者や視覚障害者の視認性に関する十分なデータが得られておらず、さらなる今後の成果を期待したい。（岩田三千子）

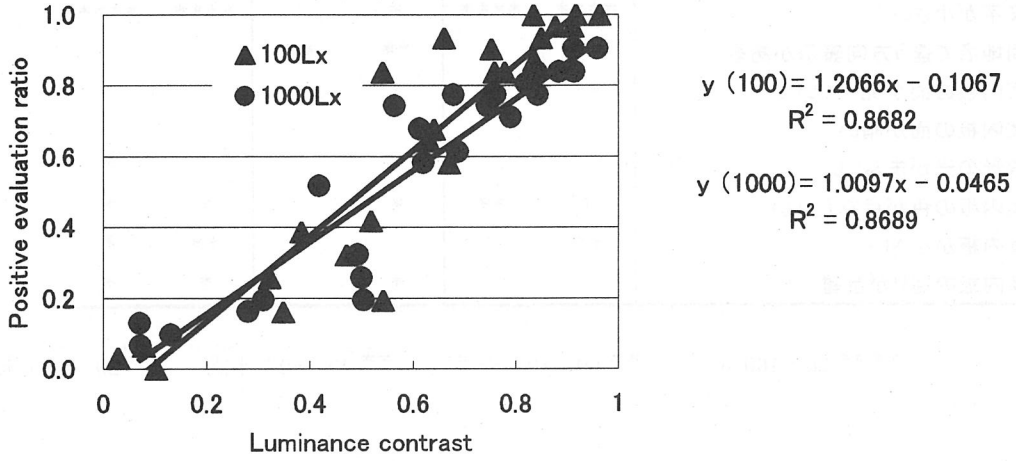


図 2-18　無彩色視標の肯定的評価者の率と輝度対比の関係

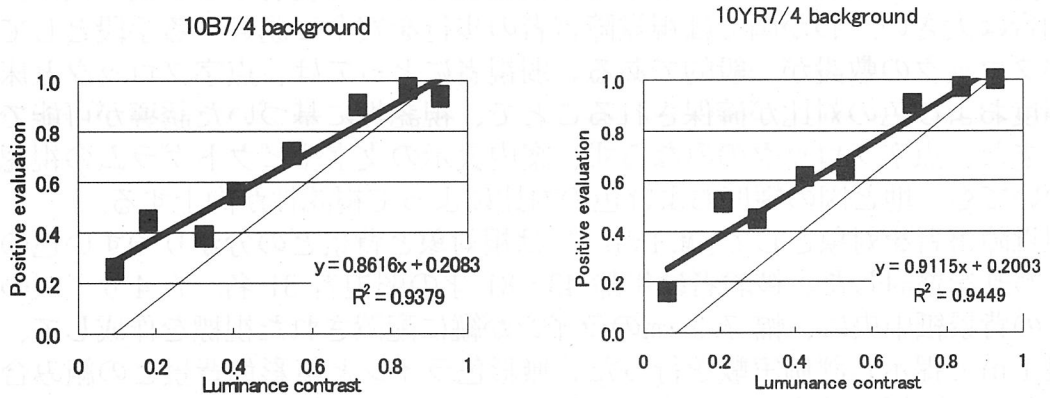


図 2-19　無彩色ライン・有彩色背景の肯定的評価者の率と輝度対比の関係

参考文献

1)　土井正・岩田三千子・宮野道雄　：　大阪梅田地下街における案内地図および方向案内板の視認性評価-高齢者に分かり易い視覚表示に関する研究 日本建築学会計画系論文集 第 457 号 pp. 151～160、1994. 3

2)　田中直人・岩田三千子：サイン環境のユニバーサルデザイン、学芸出版社

3)　Michico Iwata ： Research on the visibility of tactile blocks for visually impaired people、24th CIE proceedings No. 133 Vol. 1-1 pp. 123～125　1999. 6

2.5.2. 高齢者（老人性白内障）の見え方調査結果

2.5.2.1. 動機

超高齢社会の到来をひかえ、高齢者一人一人が自立して生活できるような環境づくりへの要望が徐々に高まり、 1990 年頃から、高齢者の調査・研究を様々な形で行ってきた。しかし若い技術者やデザイナーは、高齢者の生理能力、知覚能力、運動能力などの衰えについて知識やデータとしては理解できるが、体験的には把握することが難しいものである。したがって高齢者に適した製品のデザインをするためには、特に、眼の衰えによる見にくさが実感でき、高齢者の立場で検証できるツールが必要である。しかしながら、既存の白内障擬似体験ツールは、白内障患者から摘出した水晶体の分光透過率分布に基づいて作られており、脳での補正などを加味していないため、実際の見え方と若干異なることが想定される。

そこで、魚里博先生(前奈良県立医科大眼科講師、現在は北里大学医療衛生学部教授)、寺内博夫先生（永田眼科医師）にご指導とご協力をいただきながら、実際に白内障の手術をした患者に見え方を再現してもらう実験を行い、『生活に不便さを感じ始める程度の高齢者(老人性白内障)の見え方』を擬似する『白内障擬似体験ゴーグル』を開発した。

2.5.2.2. 白内障擬似体験フィルタ開発のための調査（1996 年～1997 年）

白内障の手術後に、手術前と同じ見え方になるフィルタの特性を明らかにするための調査を実施した。この調査には、新しく考え出した、被験者が色の記憶をより明確に表現できる調査方法を用いた。特に重要なところにアンダーラインを引いておいた。

（１）被験者

白内障以外に疾患がなく、両眼を白内障手術予定で、片眼の手術後３日目の人４８名。年齢は５２歳～８７歳（平均６６．６歳)。男性１８名、女性３０名。手術前の矯正遠見視力は０．０１～０．９。

（２）環境

診察室。被験者はその中を自由に観察する。また、文字の見えを評価できるような評価シートも用意した。この水平面照度は３００１ｘに設定。光源は白色の調光用蛍光灯４０Ｗ(TOSHIBA FLR40S･W/M･A ラピッドスタート形)。

（３）調査に使用した評価用フィルタ

①かすみ評価用フィルタ（５種類） Ｆ１，Ｆ２，Ｆ３，Ｆ４，Ｆ５
数字が大きくなるほどかすみが強くなる。

②明るさ評価用フィルタ（３種類） Ｌ１，Ｌ２，Ｌ３
数字が大きくなるほど暗くなる。

③色味評価用フィルタ（５種類） Ｃ１，Ｃ２，Ｃ３，Ｃ４，Ｃ５
Ｃ１～Ｃ３は赤橙系、Ｃ４～Ｃ５は黄系の色で、数字が大きくなるほど濃くなる。

（４）調査手順

①近見視力（４５ｃｍ）に矯正。

②３００１ｘの明るさに３分間目を慣らす。その間、手術前と手術後の見え方の違い、手術前に不便だったこと、手術のきっかけなどをヒアリングした。

③②の内容を基に、かすみ、明るさ、色味のそれぞれの評価フィルタを被験者に提示した。被験者は、白内障の手術をした目で、評価シートや室内を見ながら、手術前と最も近い見え方を再現するフィルタの組み合わせを選択した。なお、評価に際しては手術前の見え方を思い出すために、手術をしていない、まだ白内障の症状のある他方の目の見え方も参考にした。

（５）調査結果

《ヒアリング》

①手術後の見え方の変化についてのヒアリング調査において、かすみに関しては、「霧が晴れた感じ」、「テレビや新聞がよく見えるようになった」、「人の顔がよく見えるようになった」、「汚れやほこり、顔のしみやしわまでよく見えるようになった」など、多くのコメントが聞かれた。

②明るさに関しては、ほとんどの人から「とにかく明るくなった」というコメントが聞かれた。

③色味に関しては「やにがついたように見えていた白が、きれいにはっきり見えるようになった」、「電球色が蛍光灯の白色になった感じ」、「洋服の色などが落ち着いた色に見えていたが実際は派手な色で、ショックだった」、「ガスの炎の青色がきれいに見えるようになった」など、多くのコメントが聞かれた。

《フィルタの選択》

①かすみ、明るさ、色味のフィルタの組み合わせをみると、大きく３つのグループに分かれ、その違いはかすみフィルタに見られた(図 2.20 参照)。

＊術前の視力低下が比較的弱いグループが選択したフィルタ
かすみ… 選択しないか『Ｆ１』などのかすみの弱いフィルタ
色味　… 選択しないか『Ｃ１』などの色味の弱いフィルタ
明るさ… 選択しないか『Ｌ１』などの明るさの弱いフィルタ

＊術前の視力の低下が中等度のグループが選択したフィルタ
かすみ… 『Ｆ２』『Ｆ３』などの中程度のかすみのフィルタ
色味　… 選択しないか『Ｃ１』などの色味の弱いフィルタ
明るさ… 選択しないか『Ｌ１』などの明るさの弱いフィルタ

＊術前の視力低下が比較的強いグループが選択したフィルタ
かすみ… 『Ｆ４』『Ｆ５』などの強いかすみのフィルタ
色味　… 選択しないか『Ｃ１』などの色味の弱いフィルタ
明るさ… 選択しないか『Ｌ１』などの明るさの弱いフィルタ

②かすみのフィルタはほとんどの人が選んでおり、選んだかすみの度合

いに個人差があった。５０％タイル値（中央値）は『Ｆ２』であった（図2-21参照）。

③明るさのフィルタは、選択しない人と『Ｌ１』を選んだ人が約半数で、『Ｌ２』以上の暗いフィルタを選んだ人はほとんどいなかった。５０％タイル値は『Ｌ１』であった(図2-22参照)。

④色味のフィルタは、選択しないか『Ｃ１～Ｃ３』の赤橙系の色を選んだ。『Ｃ４～Ｃ５』の黄色系の色を選んだ人はなく、今回の調査では、今までに白内障患者の水晶体を物理的に分析した研究結果から想定していた色と実際に見えている色とは若干異なるという結果になった。５０％タイル値は『Ｃ１』であった(図2-23参照)。

色味フィルタ			なし		C1		C2		C3	
		計	13名		24名		7名		4名	
かすみフィルタ	なし	3名	なし		なし	●	なし		なし	
			L1		L1	●	L1		L1	●
			L2		L2		L2		L2	
	F1	14名	なし	●●●●●●	なし	●	なし	●	なし	
			L1	●	L1	●●●●	L1	●	L1	
			L2		L2		L2		L2	
	F2	10名	なし		なし	●●●●	なし		なし	
			L1		L1	●●	L1	●●	L1	●●
			L2		L2		L2		L2	
	F3	11名	なし	●	なし	●●	なし	●	なし	
			L1	●●	L1	●●●	L1	●	L1	
			L2		L2	●	L2		L2	
	F4	4名	なし		なし	●●	なし		なし	
			L1		L1		L1		L1	
			L2		L2	●●	L2		L2	
	F5	6名	なし	●●	なし	●	なし		なし	
			L1	●	L1		L1	●	L1	●
			L2		L2		L2		L2	

（L1，L2は明るさフィルタ）

図2-20 かすみフィルタ、明るさフィルタ、色味フィルタの選択の組み合わせ

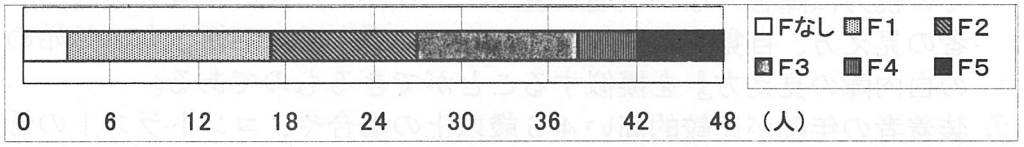


図2-21　かすみフィルタの選択

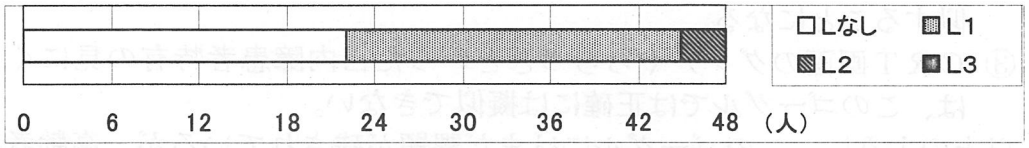


図2-22　明るさフィルタの選択

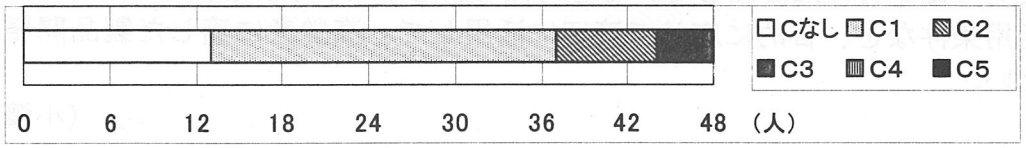


図2-23　色味フィルタの選択

（６）結論

個人的なばらつきが大きいため限定することは難しいが、調査結果を総合的に見ると『Ｆ２』、『Ｌ１』、『Ｃ１』を組み合わせたフィルタの見え方が『生活に不便を感じ始める程度の白内障の見え方』に近いことがわかった。また、このフィルタを通して見ると、ヒアリング調査で聞かれた見え方とほぼ一致することが検証できた。なお、このフィルタの分光透過率分布は図 2-24 に示すとおりである。

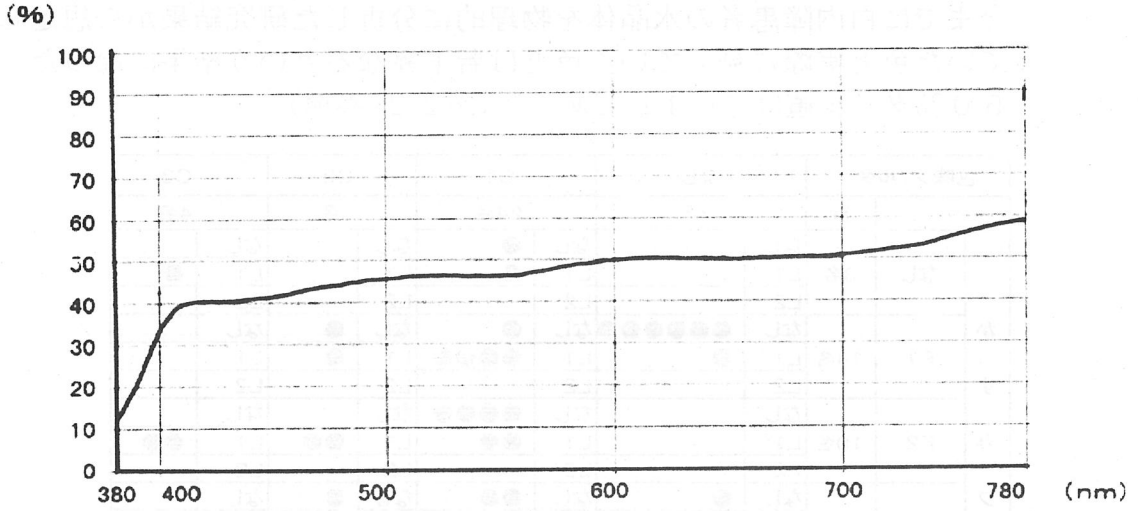


図 2-24 フィルタの分光透過率分布

2.5.2.3. 白内障擬似体験ゴーグルとしての活用

調査結果から得た『生活に不便を感じ始める程度の白内障の見え方』のフィルタはゴーグルに加工し、ものづくりの現場で活用しているが、使用者からの要望により、ゴーグルの活用条件を明確にするための検証実験を 2000 年に行った。結果の概要は以下のとおりである。

① このゴーグルは、８０～７００１ｘ程度の明るさの室内において４５歳までの視力に障害のない（矯正視力１．０以上）人が装着すると、一般高齢者の見え方、自覚症状は少ないが徐々に『生活に不便さを感じ始める程度の白内障の見え方』を擬似することができるものである。

② 装着者の年齢が比較的高い４５歳以上の場合や、コントラストの低いものを見るときは、視認性が劣り『手術が必要な程度の白内障の見え方』を擬似することになる。

③ ＣＲＴ画面のグレアやちらつきといった白内障患者特有の見にくさまでは、このゴーグルでは正確には擬似できない。

以上のように、このゴーグルにはまだ課題が残されているが、高齢者のおおよその視覚特性は擬似していると考えられるので、今後も、使用環境や個人差、活用条件など、目的に応じて適切に活用して、高齢者に適した製品開発に努めたい。

（小濱朋子）

2.5.3. 視覚の視野特性とその加齢効果

一般に視認性というと、文字やパタンの読みやすさを指すことが多く、中心窩での見やすさが議論される。しかしながら、2.1節で見たように、誘目性はむしろ視野周辺で問題となることが多く、また日常生活において視対象を見たり探したりする場合にも視野周辺の特性は重要である。一方、近年高齢社会を迎え、公共空間を含む人々の生活環境において高齢者にも安全性と快適性とが求められている。特に視覚系は加齢によって影響を受けるため、視認性を考える上でもさけて通れない問題である。そこでここでは、中心窩だけでなく周辺視野をも含めた視認性に関わる視覚特性とその加齢特性について考える。

視認性に関わる視覚特性として、視力とCSFとが重要であることは2.3節で述べた。ここでは、まずその前に光点の検出や弁別に関する加齢特性を取りあげる。例えば、ある面積を持った視標の明るさの弁別閾である明度識別閾値や、その時空間特性について検討したものが数多く報告されている。Haasら[1]は一定の明度における視標の識別が可能な網膜上での面積（イソプタ面積）を被験者の年代別および網膜位置ごとに、左右方向24度、上下方向18度の視野範囲において測定し、上半視野での感度低下が著しいことを報告したが、佐野ら[2]はVEPによる視野感度低下を上下視野で比較し、その差がないことを報告している。一方視野の時間特性については、二刺激光法による分解能についての研究から、加齢により上半視野の感度の低下が顕著であることが報告された[3]。

視力やCSFについては、中心窩での加齢変化が一般に広く知られている。視力は通常測定される5m視力の場合、10代後半で最大となりその後40代後半まではほぼ一定であるが、50代に入ると徐々に減少し、10代で1.1程度あったものが、60歳で1.0、70歳で0.9、80歳では0.7となる[4]。こうした測定の際には、調節遠点を基準として調節力を矯正しており観察距離5mの視標にも焦点はほぼ適切であると考えられるため、年齢による視力の低下は、眼光学系の混濁や神経系の細胞密度の低下などが原因として考えられる。また観察距離50cmにおける近距離視力では、40代を境にして1.2から0.4へと急激に低下する[5]。これも調節遠点を基準として調節力を矯正しているために、調節範囲が減少することによって生じるいわゆる老視が現れているものである。

CSFの場合、主に高空間周波数の感度が低下し、ピークとなる周波数も低空間周波数へと遷移することが報告されている[6]。例えば、4.0〜16.0 cpdの範囲で見てみると、80代では20代に比較して約1／6にまで低下するが、1.0 cpd以下では、年齢による低下はほとんど見られない。このような高空間周波数での感度低下が直接視力低下に結びついているものと思われる。

ところで、視力やCSFが視野位置に応じてかなり異なることは既に2.3節に示したが、加齢によってこの視野特性が影響を受けることは容易に推測できる。例えば、ランドルト環を用いた周辺視野での視覚探索特性における加齢変化がKoojimanら[7]によって、また視力やCSFではないが運動視について、ランダムドットを用いた運動方向弁別閾の視野特性における加齢効果がWojciechowskiら[8]によって、それぞれ報告されている。Koojimanらは、中心窩から視野位置12度までの領域のうち上下左右およびその間の計8方向いずれかにランドルト

環を提示し、その際に若年者（20代）と高齢者（50～70代）とに提示位置とランドルト環のきり欠きの方向を応答させた。その結果、定位および方向弁別についての正答率が75%となる切り欠き幅の逆数を感度とした場合、(1) 高齢者では若年者に比べ視野の各部位で感度が一様に低下していること、(2) ただし周辺での感度低下は若年者の方が大きいこと、を示した。また以上の結果を目標刺激提示後の一定経過時刻における有効視野サイズとして示した場合、(3) 時刻が増すにつれて高齢者と若年者での有効視野サイズの差は減少する、ことも明らかにした。ただし、この実験では課題の遂行において眼球運動が許されており、探索の加齢変化が単に視力以外の要因を含んでおり、加齢変化の原因を特定することは難しい。一方、Wojciechowski らは、若年者（平均約23歳）と高齢者（平均約67歳）とで、ランダムドット運動の方向弁別閾を、中心窩および上下左右の周辺18度を中心とする位置で比較した。その結果、(i) 弁別閾は高齢者で明らかに増加しており、(ii) 特に視野周辺よりも中心窩での増加が著しく、上半視野での増加が最も少ない、さらに (iii) その特性は明るさ知覚閾のそれとは全く異なる傾向である、ことなどを示した。この報告は運動視機能についての視野特性を示すものとして注目されるが、刺激速度が28deg/s と比較的高く、この結果を運動視の加齢変化としてどの程度一般化できるか注意する必要がある。

以下では、視力と CSF について、その視野特性が若年者と高齢者とでどのように変化するのかを直接測定して比較を試みたものを紹介する。

視力の視野特性の加齢効果

視野位置ごとの視力を測定するにあたり、刺激モニタ上に提示された白地に黒のランドルト環を、観察者に周辺視させ、その状態でランドルト環の切り欠きの方向（8方向より選択）を口頭で応答させた。ディスプレイは、観察距離103cmで視角サイズ21.1x16.0degであった。ランドルト環は、最大で10 deg（切り欠き幅120 arc min）とし，背景の輝度を80と0.8cd/m^2、提示時間を1000と13msとした。視野上の提示位置は、水平方向について左右とも60degまで、垂直方向については上下とも40degまで、10deg間隔の位置で行われた。ランドルト環の網膜提示位置をできるだけ正確にするために、観察者は各提示位置に対応した注視点を注視し、また観察者の注視がずれた試行を無効とするために、刺激モニタ上方に設置したビデオカメラで、実験者が観察者の視線をチェックした。刺激条件ごとに、ランドルト環の大きい方から小さい方へと逐次提示し、観察者が切り欠きの方向を2回誤答したところで、その条件の測定系列を終了する。1回の測定系列では、誤答した直前試行の各視力値の幾何平均を算出し、複数の測定系列でさらに幾何平均することで、各刺激条件の視力値とした。観察者は、高齢者15名（平均年齢70歳）、若年者15名（平均年齢22歳）で行われた。

なお本実験では、視力の視野特性を計測するにあたって、網膜像の不必要な歪みを生じさせないように、眼鏡等による調節力の矯正は行っていない。しかし、視力測定にとって条件の良い背景80cd/m^{2}で、提示時間1000msでの中心窩

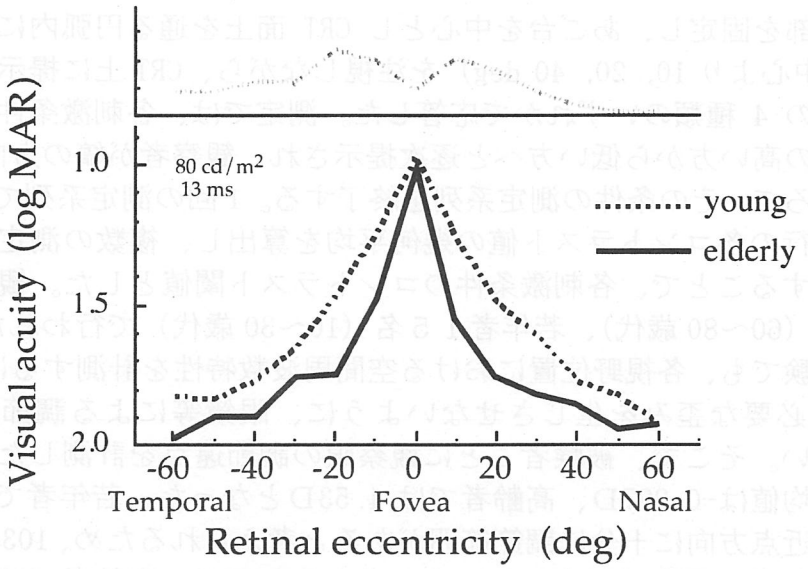


図 2-25. 視力の視野特性についての若年者と高齢者との比較

における視力は、若年者に対して高齢者は、0.85 倍であり、これまでに報告されている 20 代と 70 代の視力比とほぼ一致している。従って、今回の結果をもとに他の周辺視野での結果を比較してもよいものと考えられる。

図 2-25 に水平方向での視野位置における若年者と高齢者の視力測定結果を示す。刺激条件は背景 80cd/m^2 で、提示時間 13ms の場合である。横軸は、網膜周辺視野位置で、0 が中心窩、正値が鼻側視野、負値が耳側視野であり、縦軸は視力値である。また、グラフ内の上方には若年者と高齢者との差分量を示す。この結果から、高齢者は若年者に比べてどの視野位置でも視力低下が見られるが、とりわけ周辺視野 10ー20deg での低下が顕著顕著であることがわかる。この結果は、同じ背景で提示時間が 1000ms の場合でも得られている。また、提示時間が 1000ms よりも 13ms の場合に、この低下は顕著であった。一方、背景が 0.8cd/m^2 の場合、高齢者で視野全体にわたってほぼ一様に感度低下が見られた。ただし提示時間の影響は、背景が 80cd/m^2 の場合とほぼ同様である。従って、ある程度の細かいものが視認できる視野範囲は、観察時間が短い場合高齢者で狭く、観察時間の増加とともにその範囲が若年者に徐々に近づくことが示唆される。

空間周波数感度の視野特性に関する加齢効果

様々な粗さの明暗変化に対して視覚系の感度特性を表わす空間周波数感度の視野特性とその加齢変化を検討した。測定では、刺激モニタ上の直径 8 deg の円形内に提示された正弦波グレーティングの方向を観察者が口頭で応答した。ディスプレイの大きさおよび観察距離は前述の視力実験と同一である。

刺激の空間周波数は 0.26, 0.52, 1.05, 2.10, 4.2, 8.4, 16.8 cpd の 7 種類を用いた。また刺激の平均輝度は、60 cd/m^2 または 0.8 cd/m^2 で、コントラストは 0.003 から 0.800 の間の約 50 種類のうちいずれか、提示時間は、1000 ms または 13 ms であった。また、縞の方向は、水平より右上がり 22.5deg, 67.5 deg、または左上がり 22.5deg, 67.5 deg のいずれかであった。さらに視野上の提示部位は、中心窩と耳側 10, 20, 40 deg とした。観察者は CRT の前方に置かれた

あご台に頭部を固定し、あご台を中心とし CRT 面上を通る円弧内に提示された十字（CRT 中心より 10, 20, 40 deg）を注視しながら、CRT 上に提示された縞の方向を上述の 4 種類のいずれかで応答した。測定では、各刺激条件ごとに、コントラストの高い方から低い方へと逐次提示され、観察者が縞の方向を 2 回誤答したところで、その条件の測定系列を終了する。1 回の測定系列では、誤答した直前の試行の各コントラスト値の幾何平均を算出し、複数の測定系列でさらに幾何平均することで、各刺激条件のコントラスト閾値とした。観察者は、高齢者１５名（60～80 歳代）、若年者１５名（10～30 歳代）で行われた。

なお本実験でも、各視野位置における空間周波数特性を計測するにあたって、網膜像の不必要な歪みを生じさせないように、眼鏡等による調節力の矯正は行っていない。そこで、被験者ごとに観察眼の調節遠点を計測したところ、若年者では平均値は-0.287D、高齢者では 1.53D となった。若年者では調節範囲が遠点より近点方向に十分に調節範囲があると考えられるため、103cm の距離に提示される刺激に調節は対応していると考えられるが、高齢者では、調節範囲はほぼゼロであるため、平均的には刺激より約 2.5D だけ遠方に調節した状態と考えられる。このことによる高齢者での空間周波数特性の低下は、現在検討中であるが、おおまかには主に 2cpd 以上の空間周波数で生じ、その大きさもたかだか５～７倍であると思われる。

以上の点を考慮して、結果（図 2-26）のグラフを見てみる。この図は、若年者と高齢者の各視野位置における空間周波数特性の結果であり刺激条件は平均輝度 60cd/m^2 で提示時間は 1000ms の場合で、横軸は空間周波数で、縦軸はコントラスト感度（コントラスト閾の逆数）である。この結果では、若年者の場合中心窩では 4 cpd をピークとする帯域型の特性が現れており、周辺視野ほどこのピークが低空間周波数へ移行し、高周波数成分に対する感度が低下する特徴が現れている。一方、高齢者でも中心窩から周辺視野へは同様の傾向が見られるが、若年者に比較して全体の感度が低下し、さらに高周波成分への感度低下が生じている。ここで上述の高齢者の 2.5D 分の焦点ずれを考慮したとしても、わずかに高周波数側へ感度が回復する程度で、基本的な傾向は変わらないものと

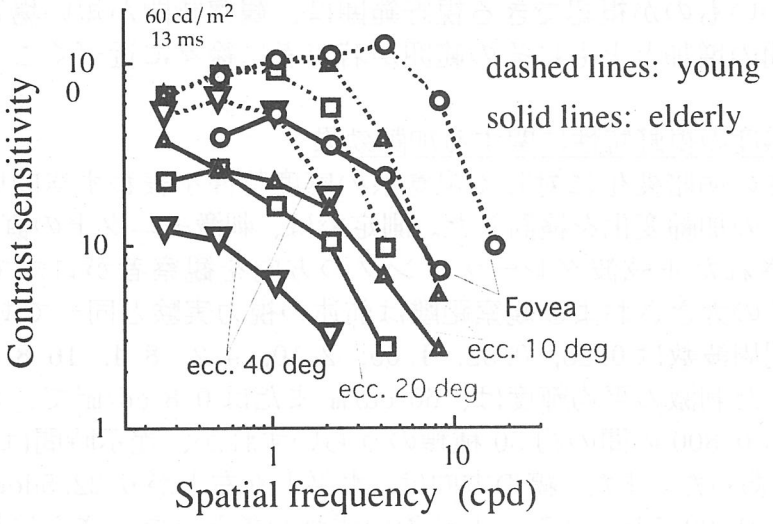


図 2-26. 空間周波数感度の視野特性についての若年者と高齢者の比較

思われる。他の刺激条件でも傾向はほぼ同様であるが、若年者、高齢者ともに背景が暗く、提示時間が短くなると、高周波成分への感度低下がより顕著となる。従って、ある程度の細かいものが視認できる視野範囲は、観察時間が短い場合高齢者で狭く、観察時間の増加とともにその範囲が若年者に徐々に近づくことが示唆される。

（氏家弘裕）

参考文献

1) Hass, A., Flammer, J. and Schneider, U.: Am.J.Ophthalmol., 101, pp199-203 (1986)
2) 佐野信昭, 安達恵美子: 日眼会誌, 94, pp527-531 (1990)
3) 宮川典子, 安間哲史: 日眼会誌, 90, pp1550-1556 (1986)
4) Haegerstrom-Portnoy, G., Schneck, M.E. and Brabyn, J.A.: Optom.Vis.Sci., 76, pp141-158 (1999)
5) 遠藤英俊: 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平成９年度調査報告書, ②59-66 (1997)
6) Owsley, C., Sekuler, R. and Siemsen, D.: Vis.Res., 23, pp689-699 (1983)
7) Koojiman, A.C., Cornelissen, F.W., Eppink, E. and Ditvoorst, H.I.A.: Inv.Ophtahl.Vis.Sci., 38, pS66 (1997)
8) Wojciechowski, R., Trick, G.L. and Steinman, S.B.: Opt.Vis.Sci., 72, pp67-74 (1995)

第３章　可読性に関する調査研究

3.1. 可読性に関する定義と文献の整理

「可読性(legibility)」は、照明用語 JIS Z8113(1988)においては「文字又は記号の読みやすさの程度」、色に関する用語 JIS Z8105(1982)では「文字、記号又は図形の読みやすさの程度」と定義されている。一方、「視認性(visibility)」は「対象物の存在又は形状の見やすさの程度」と定義されていることから、可読性とは視認性よりも高度な認知レベルでの「見えやすさ」を表す用語として用いられ、対象に含まれる意味情報（文字・記号等）を認知・認識しやすさを示す指標であるといえる。複数の文字で構成された文章の読みやすさも可読性の１つであるが、内容の理解のしやすさを意味する「読みやすさ」を表現するには readability という言葉を用いる。可読性には、人間の視覚特性（視力、空間周波数特性、眼球運動、弁別閾など）や認知特性（注意、文脈効果など）が反映されるが、同時に対象物の様々な物理特性（文字サイズ、フォント、文字間、色、背景との関係）も影響し、両者は互いに相互作用する。したがって、可読性を定量的に取り扱うためには、人間側の特性と対象側の特性の関係を明らかにする必要がある。そのためには、一般に対象側を変化させて人間側の特性変化を測定する方法と、ある一定の知覚特性が与えられるよう対象側を変化させて調整させる測定方法が用いられ、これらはいずれも心理物理学的測定法を用いることで調べることができる。

可読性に関する研究は、これまでにも様々な観点から数多く行われてきており、そのすべてを網羅することは不可能であるが、可読性に関わる空間要因と色コントラストの関係ならびに視認性評価と眼球運動の関係を次節 3.2 で紹介する。また、明視三要素（大きさ、明るさ、対比）とＶＬ（見やすさレベル）の関係は 3.3 節、視認性評価関数の定式化については 3.4 節、ディスプレイ上での可読性実験については 3.5 節で詳しく述べる。本節では、その他の特性に関する既往研究成果について以下概説する。

視力に関する研究では、背景輝度・刺激のコントラスト・焦点ぼけの効果がランドルト環視力に対して加算的に働くこと[1)]や、年齢と背景輝度の低下とともに視力が減少すること[2)]が報告されている。また、視力とコントラスト感度の間には極めて高い相関があること[3)]や、ドライバーの事故統計は静止視力だけでは１％程度しか説明できないこと[4)]が報告されている。

１文字だけ呈示された場合よりも、その左右に異なる文字が呈示されたときのほうが一般に読みにくい。このような現象を crowding 効果といい、これまで側抑制マスキングが原因であると考えられてきた。最近、crowding 効果は空間周波数マスキングであるとする報告[5)]や、crowding 効果は不適当な特徴結合によって生じるという報告がある[6)]。また、周辺視ほど crowding 効果は大きくなるが、読書成績は crowding 効果だけでは説明できないことも示されている[7)]。

視覚の空間周波数特性（コントラスト感度特性）は、視認性や可読性を考える上で重要かつ強力なツールであるが、視覚系はコントラスト情報のみならず、位相の情報も処理しており、位相検出メカニズムに関する研究も数多く行われ

てきている[8]。今後は空間周波数特性だけでなく、ウェーブレットなどの位置情報も取り扱える分析方法を取り入れていく必要があろう。また、閾と閾上ではコントラスト感度特性が大きく異なり、閾値レベルではバンドパス空間周波数特性、閾上レベルではよりフラットな空間周波数特性（すなわち空間周波数特性が減少）となることに注意する必要がある[9]。さらに、加齢による空間周波数特性は照度（明るさ・輝度）レベルによって異なり、高照度条件では高空間周波数帯域のみが、低照度条件では低空間周波数を含む全空間周波数帯域にわたって若年者に比べて感度が低下することが最近明らかとなった[10]。

ミネソタ大学のLeggeは、「読書の心理物理学(Psychophysics of reading)」と称した一連の研究成果を報告している。ここではその成果のいくつかを紹介する。同じ文字サイズでも、文字フォントによって読みやすさが異なることは一般的に言われていることであるが、Leggeらは等（固定）文字幅フォント(Courier-Bold)とプロポーショナルフォント(Times-Roman)で読みのパフォーマンスを３種の計測基準（reading acuity, maximum reading speed, critical print size）を用いて定量的に比較した結果、等文字幅フォント(Courier-Bold)の方がプロポーショナルフォント(Times-Roman)よりも読みのパフォーマンスが高く、特にロービジョンの被験者で差が顕著であることを明らかにした[11]。また、健常な加齢眼でのreading rateの最大値は若年者とほぼ同じであるが、小さい文字と大きい文字のときに若年者に比べてreading rateが減少することを明らかにし、その劣化はコントラスト感度の低下（実効コントラスト）で説明できることを示した[12]。また、周辺視における読みのパフォーマンス特性は、中心視に比べても本質的には同等であるが、スケーリング係数が異なり、その違いは認識のスパン・crowding効果・処理速度の違いが反映されていることを実験的に示した[13]。

読書時の眼球運動に対する可読性の影響も興味深い。O'Reganらは、サッカード（跳躍眼球運動）の大きさは文字間隔に対する有効視野の大きさに対応するが、視距離の影響はなく、注視時間は視距離とともに増加することを示し、可読性と視知覚特性が複雑に関与しあっていることを示した[14]。また、注意・文脈効果・単語優位効果・全体＆部分特徴・ストループ効果・読書時の有効視野が可読性に大きく影響することは分かっているが、定量的な効果特性やメカニズムは不明な点が多く、今後の研究課題といえる。国内でも可読性や視認性の研究は数多く行われてきており、そのいくつかについては次節以降で具体的に紹介されているので併せてご参照いただきたい。

国際照明委員会CIEでも、2000年にTC1-19"The Correlation of Models for Vision and Visual Performance"のテクニカルレポートが発行された。今後、可読性の問題は、照明分野にとどまらず、デジタル時代を迎えて、表示技術に関連するすべての分野で定量的かつ精力的に検討されていくであろう。可読性を科学的に検討する上で大切なのは、人間の視覚特性を正しく理解することに加え、環境との対応関係を論理的に結びつけていく地道な努力である。さらに、画像処理技術を駆使したシミュレーション実験や数理的解析手法も今後ますます活用されるようになり、実験（測定データ）と理論（定式化・計算）のコラ

ボレーションならびにフィードバック作用が、可読性ひいては視認性研究において今後ますます重要となってくるであろう。これまでの研究スタイルの枠組みにとらわれず、新しい手法や理論を大胆に取り入れる柔軟性が、研究者に求められる時代が来たといえる。

（岡嶋 克典）

参考文献

1) C.A.Johnston and E.J.Casson : "Effects of luminance, contrast and blur on visual acuity," Optometry and Vision Science, 72, pp.864-869 (1995).

2) S.P.Sturgis and D.J.Osgood : "Effects of Glare and background luminance on visual acuity and contrast sensitivity: Implications for driver night vision testing," Human Factors, 24, pp.347-360, (1982).

3) B.Brown and J.E.Lovie-Kitchen : "High and low contrast acuity and clinical contrast sensitivity tested in a normal population," Optometry and Vision Science, 66, pp.467-473 (1989).

4) K.E.Higgins, J.Wood and A.Tait : "Vision and driving: Selective effect of optical blur on different driving tasks," Human Factors, 41, pp.224-232 (1998).

5) S.T.L.Chung and D.N.Levi : "Crowding: A tale of spatial frequency masking,"Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 40, No.4, p.S972(#5120) (1999).

6) M.Palomares, M.C.LaPutt and D.Pelli : "Crowding is unlike ordinary masking,"Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 40, No.4, p. S351(#1864) (1999).

7) H.Kawashima dn K.Oda : "Crowding effect on letter recognition in central and peripheral vision,"Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 40, No.4, p. S34(#178) (1999).

8) 視覚情報処理ハンドブック（朝倉書店)、pp.210-217 (2000).

9) M.A.Georgeson and G.D.Sullivan : "Contrast constancy: debluring in human vision by spatial frequency channels," J. Physiology, 252, pp.627-656 (1975).

10) 岩田三千子、岡嶋克典、氏家弘裕：「照度レベルに依存するコントラスト感度の加齢変化」、照明学会誌、85、pp.352-360 (2001).

11) J.S.Mansfield, G.E.Legge and M.C.Banet : "Psychophysics of reading XV: Font effects in normal and low vision," Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 37, pp.1492-1501 (1996).

12) H.Akitsu, G.E.Legge et al. : "Psychophysics of reading X: Effects of age-related changes in vision," J. Gerontology, 46, pp.325-331 (1991).

13) S.T.L.Chung, J.S.Mansfield and G.E.Legge : "Psychophysics of reading XVIII: The effect of print size on reading speed in normal peripheral vision," Vision Res., 38, pp.2949-2962 (1998).

14) J.K.O'Regan et al., "The effect of visibility on eye-movement parameters in reading," Perception and Psychophysics, 34, pp.457-464 (1983).

3.2. 可読性に関わる基礎的研究動向

3.2.1. 可読性に関わる空間要因と色コントラスト

表示系デザインの品質として、表示の見やすさ・わかりやすさを確実に実現していくには、定量化が必要である。VL とは異なるアプローチとして、ローパス・フィルタリング法による可読性の定量評価の考え方、及び、その方法を用いた可読性研究について報告する。

3.2.1.1. ローパス・フィルタリング法による可読性の定量化

表示の見やすさ・わかりやすさのうち、視覚系の時空間分解能によって説明できるものを可読性として定義する。視覚パタンは、様々な位相関係で重なり合った様々な空間周波数成分の線形和である。図 3-1 にセグメント文字とそのローパス画像とバンドパス画像を示す。元画像(L0)から空間周波数の高い成分を順次取り除いたものが、ローパス画像系列(L1-L4)である。ローパス画像の系列を見ると、視覚パタンを構成する空間周波数成分のうち、高空間周波数成分が取り除かれても、ある程度まで読み取りが可能であること、相対的に低い帯域の成分は、文字の可視性、文字があるかないか、どこにあるかという情報を担っていることがわかる。ローパス画像間で取り除かれた成分がバンドパス画像系列(B1-B4)である。バンドパス画像の系列は、文字の読み取りに利用できる情報が、広範な帯域に冗長に存在すること、文字の読み取りに利用できる帯域は、可視性を決める帯域より高く、基本的に、形状の複雑さによって文字毎に異なっていることを示している。人は、その時の視覚系の状態や観察環境に従って、（感度が高いとかパワーが大きい、s/n 比が高い等の理由から）利用しやすい帯域を使って文字を読み取っていると考えられる。

他方、人間の視覚特性の一般的傾向として、観察環境に従って視覚系の時空間分解能は、時々刻々ダイナミックに変動しており、特に高空間周波数に対す

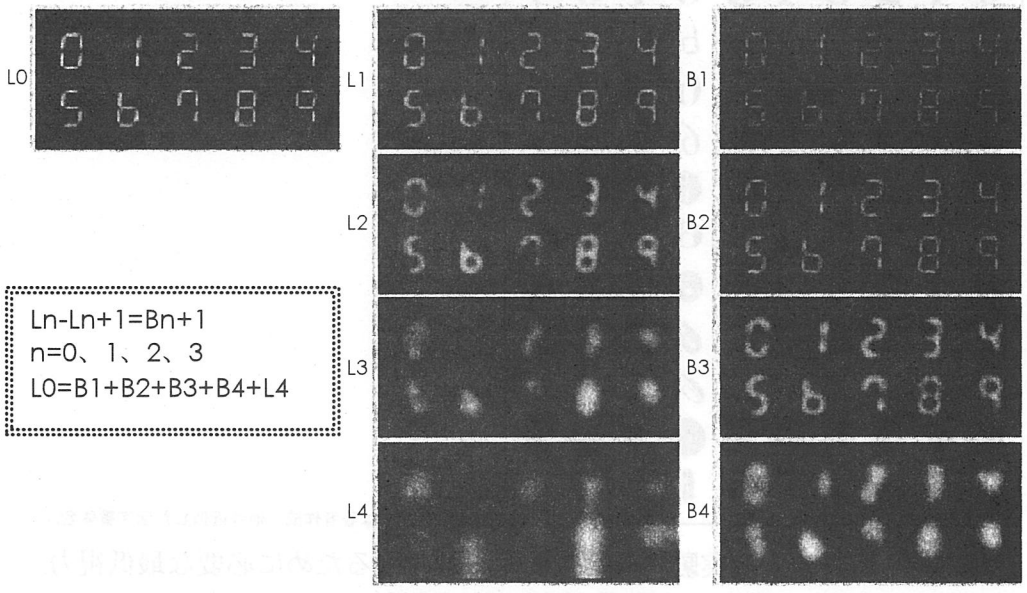


図 3-1　セグメント文字（左）のローパス画像（中央）とバンドパス画像

る感度がその影響を強く受ける[1、2、3]。より長い期間にわたって起こる加齢変化も、相対的に高い空間周波数帯域に対する感度を低下させる[4]。さらに、空間分解能と時間分解能はトレードオフの関係にあり、高時間分解能は低空間周波数帯域に、高空間分解能は低時間周波数帯域に限定される。即ち、高い分解能は非常に限られた条件下でのみ発揮されるのである。

以上の考察に基づいて、可読性は、文字やアイコンの読み取りに関わる空間周波数帯域の高低によって基本的に規定されていると考えることができる。正しい読み取りに必要な形状の特徴を記述している帯域が低いほど、視覚特性の低下（加齢）や観察条件の劣化の影響を受けにくいという意味で、可読性が高い、言い換えると、低視力で読みとれるほど（即ち、短時間で読みとれるほど）可読性は高いと云える。従って、この形状を特徴付けている帯域を測定することによって、可読性を空間分解能と関係付けて定量化することができ、観察者の視力に基づいて形状の可読性を評価できる[5]。

3.2.1.2. 可読性に影響を与える空間要因

この可読性評価の考え方に従って、複数の数字書体の可読性を測定した結果を図 3-2 に示す。高い空間周波数成分から順次取り除いたローパス画像の系列を観察者に呈示し、どこまで読めるかを測定したものである。読める読めないの境界の空間周波数（カットオフ周波数）は、視力に換算して表記した。結果は、書体間の可読性の差異を定量的に示している。同一サイズの各種書体を比較すると、オープン書体（開口部が大きく広がった書体）の可読性が優れている[5]。その他、本手法を用いた研究から、以下の点が指摘されている。

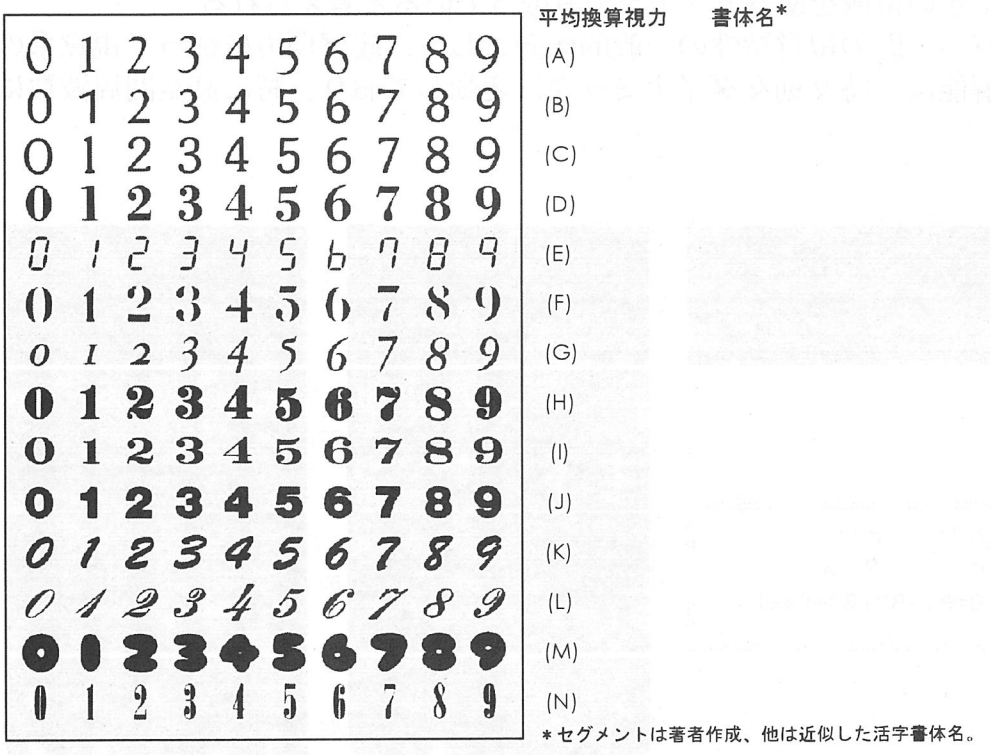


図 3-2　可読性測定実験結果。数値は、読み取るために必要な最低視力。(A)～(N)は、可読性が高い順（最低視力が低い順）。

・文字サイズの拡大は、空間周波数スペクトルを低周波側へシフトさせることであり、その効果は可読性の定義から明らかである[6]。文字サイズがN倍になれば、読み取りに必要な視力は1/Nとなる。
・ネガ／ポジの比較では、ネガ表示（暗背景明文字）よりもポジ表示（明背景暗文字）の読み取りに、より高い視力が必要である[6]。
・文字の線幅には、最適値が存在する[6]。細い線幅の文字の可読性は、明るさやコントラスト低下等の影響を受けやすくなる。線幅を太くすると、低空間周波数パワーが増大し、可視性や誘目性は上昇するが、文字形状の開口性が損なわれるため、可読性には負の影響を与える。
・表示に隣接するエッジや他の表示は、その距離やコントラストに応じた負の効果を可読性に及ぼす[7]。これは、文字を枠で囲んだり、パタンのある背景上に文字を重ねて表示したり、複数の表示間の距離が小さい場合に起こる。
・輝度コントラストの低下、背景輝度の低下は、可読性を低下させる[6]。ただし、輝度コントラストが高いほど、背景輝度の影響は小さくなる。
・順応輝度よりも暗い窓に呈示された文字は、明るい窓に呈示された文字より可読性が低くなる[7]。

3.2.1.3. 輝度コントラストと色コントラスト

視力に基づき形状の認識を必要とする可読性は、時空間分解能が相対的に高い輝度コントラストに負うところが大きい。他方、色コントラストに対する高い感度は、低時空間周波数帯域に限定されており、可読性に対する貢献はあまり期待できない。実際、輝度ノイズを付加し色コントラストだけで表現された文字の可読性の低さが、実験によって示されている[8]。表示を構成する文字やアイコンなど、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。色コントラストと輝度コントラストは、相互に代用できるものではなく、
・一般的特性として、色覚の低時空間分解能
・加齢や色覚異常に帰因する色弁別特性の低下（色覚障害の混同色線[9]、高齢者の低照明下での第３色覚異常に似た色弁別特性[10]）
・加齢や色覚異常に帰因する波長選択的な輝度知覚の低下（２色型第１色覚異常の長波長側、２色型第２色覚異常の短波長側での視感度低下[11]、加齢による短波長域での視感度低下[12]）
・一般的特性として、周辺視野における色覚機能低下
等に配慮し、色彩の利用が可読性を損なわないよう注意しなければならない。

色コントラストは、視覚探索場面（pop-out）や視野の分節化（ゾーニング、図と地）、危険・注意・安全・正常・異常といったあいまいだが直感的、情緒的な意味の伝達、審美性等において、輝度コントラストでは得られない効果を表示に付加することができる。このような色コントラストの有効性を活かし、同時に、低視力でも短時間でも読み取れる可読性の高い表示を実現するためには、輝度コントラストと色コントラストを、その性質を理解した上で、目的に応じて使い分ける必要がある。色彩を少なく大きく使うことは、色コントラストの特性から導かれる合理的な解法のひとつであろう。

3.2.1.4. 結び

視覚系の空間分解能を表す視力を尺度として可読性を定量評価するローパス・フィルタリング法を使った研究に基づいて、可読性に関わる空間要因及び色コントラストについて報告した。測定された読み取りに必要な最低視力は、可読閾のひとつである。VIF が示す閾上レベルにおける読みやすさとの関連は、今後の課題である。しかし、日常環境の変化に従って視力は絶えず変動しており、閾上であった表示が、次の瞬間には閾レベルに低下することも事実である。緊急性や重要性の高い情報に関して最も必要なのは、観察条件が劣悪になっても読み取ることができることである。

参考文献

(1) A. von Meeteren and J. J. Vos : "Resolution and contrast sensitivity at low luminance", Vision Res., 12, 825-833(1972).
(2) J. G. Robson : "Spatial and temporal contrast sensitivity functions of the visual system", J. Opt. Soc. Am., 56, 1141-1142(1966).
(3) M. S. Banks, A. B. Sekuler and S. J. Anderson : "Peripheral spatial vision: limits imposed by optics, photoreceptors, and receptor pooling", J. Opt. Soc. Am. (A), 8, 1775-1787 (1991).
(4) R. Sekuler, C. Owsley and L. Hutman : "Assessing spatial vision of older people", Amer. J. Optometry & Physiological Optics, 59, 961-968(1982).
(5) 舟川・小田："ローパス・フィルタリング法による形状の視認性評価", 照学誌, 81, 438-445(1997).
(6) 舟川："文字の可読性に関する実験的研究", 照学誌, 84, 785-792(2000) .
(7)舟川："可読性に影響を与える空間要因に関する実験研究", 照学誌, 84, 793-798(2000).
(8) 舟川："色コントラストと可読性に関する実験研究", 照学誌, 84, 799-808(2000).
(9) G. Wyszecki and W. S. Stiles : Color science: Concepts and methods, quantitative data and formulae, John Wiley, New York (1982).
(10) K. Knoblauch, F. Saunders, M. Kusuda, R. Hynes, M. Podgor, K. E. Higgins, and F. M. de Monasterio : "Age and illuminance effects in the Farnsworth-Munsell 100-hue test", Appl. Opt., 26, 1441-1448(1987).
(11) R. M. Copenhaver and R. D. Gunkel : "The spectral sensitivity of color defective subjects determined by electroretinography", Arch. Ophthalmol., 62, 55-68(1959).
(12) J. M. Kraft and J. S. Werner : "Spectral efficiency across the life span: flicker photometry and brightness matching", J. Opt. Soc. Am. A, 11, 1213-1221(1994).

(舟川　政美)

3.2.2. 視認性評価と眼球運動

文字の読みやすさ評価の方法は、日常生活における標識や表示などの視認性を考える上で、重要である。視認性という観点からは、（1）視力、（2）読み時間、（3）主観的尺度評価、などによる議論が行われる。

視力に基づいた議論は比較的よく行われるが、視力は閾値の範疇にあり、閾上の読みの問題に完全に答えられるかどうか議論の余地がある。これに代わるものとして読み速度に基づく議論では、読みやすさに応じて読み時間が減少するという考え方が基本となっている。これまでの報告では、コントラストをパラメータとした場合、10%以下では読み時間の顕著な増大が見られるが、それ以上の高いコントラストではほぼ一定となることが言われている。一方、複数段階の主観的尺度評価に基づく読みやすさ評価が行われることもあるが、この場合、文字や文章を一目して評価を行う場合と、文字を一通り読み通したうえで評価を行う場合との違いについての議論が行われていない。また、読みにおける眼球運動については、停留時間や跳躍距離などと文章の難易度に関連した言語処理との関係が議論されてきたが、読みやすさとの関係はほとんど議論されていない。

そこで本稿では、文字の読みやすさを評価するうえで、読み速度や主観的尺度評価および眼球運動による場合とでの相違を検証し、さらに眼球運動が文字のコントラストによってどのような影響を受けるかを明らかにすることを目的とした研究を紹介する

3.2.2.1. 実験方法

視対象である文章は、コンピュータ（Apple, PowerMacG3/450）によって、誌距離 80cm の CRT モニタ（Sony, GDM-F500R）上に提示された。文章は、横 24 文字、縦 20～25 行で構成され、文章の提示範囲は最大で 24x38cm（17x27 deg）であった。用いた文章は、C.W.ニコル著「C.W.ニコルの森の時間」（中公文庫）より抜粋したもので、異なる 5 種類のコントラスト（7, 8, 23, 61, 93%）について、各 6 種類ずつ、合計 30 種類を用意した。

眼球運動は測定装置（Nac, EMR-8）を用いて、右眼について測定を行った。サンプリング周波数は 60Hz である。測定のキャリブレーションは、毎試行直前に行った。

実験の基本的な手順としては、以下の通りである。まず始めに、眼球運動測定装置のキャリブレーションを終えた後、観察者が準備ができたところでキーボード上のキーを押し、これにより CRT 上に文章が提示される。観察者は文章提示と同時に文章を始めから読み始める。この文章を読む際には、速やかにできる限り戻り読みをせず、一定の理解が得られるように読むことが、あらかじめ指示されている。読み終えたと同時に、再びキーを押し、読みにかかった時間がコンピュータに記録され、CRT 上の文章が消える。観察者は文章の読みやすさを 6 段階評価で回答する。また、試行の最後に、提示された文章の内容について、その概略を答え、実験者はそれを記録しながら、ある程度問題なく文章が読まれていることを確認する。

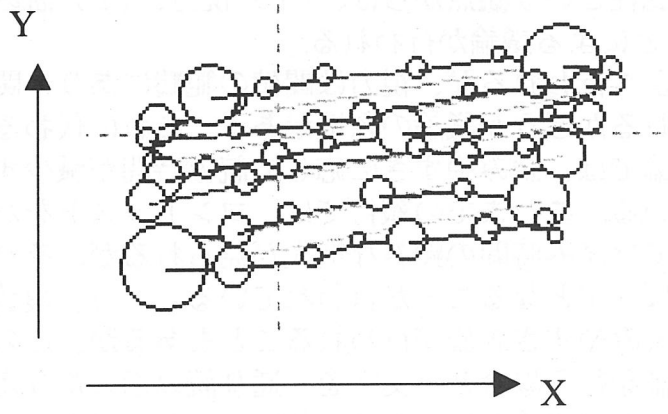


図 3-3. 停留点解析の結果の例
各円の中心が停留点で、円の大きさが停留時間に対応している。

3.2.2.2. 眼球運動データ解析

得られた眼球運動データについては、X, Y の位置情報の時系列データをもとに、停留した位置を求めた（図 3-3）。次にこの停留点の情報をもとに、

(1) 跳躍距離
(2) 跳躍速度
(3) 停留時間

を求めた。これらは、実際には各観察者ごとに、山型の分布となる（図 3-4）。そこで、この分布の重心となる横軸の位置を求め、各条件間での比較を行った。

3.2.2.3. 結果

跳躍距離のコントラストに対する変化を図 3-5 に示す。これによると、いずれの観察者も、コントラストが 10%未満とそれ以上とでは明らかに跳躍距離が異なっている。これは、読み速度がコントラスト 10%未満で徐々に低下し、10%以上ではほぼ一定ということと対応している可能性がある。実際に今回の実験

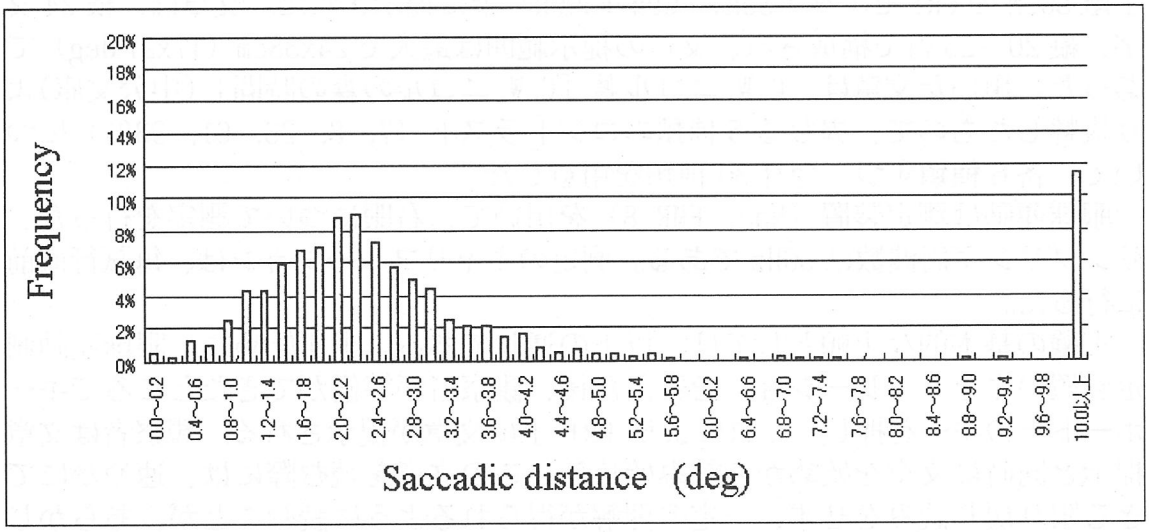


図 3-4. 跳躍距離の頻度分布の例
読みの跳躍眼球運動における距離を、観察者 1 名について、コントラスト 7%の条件について全試行の頻度分布を求めた結果の例。

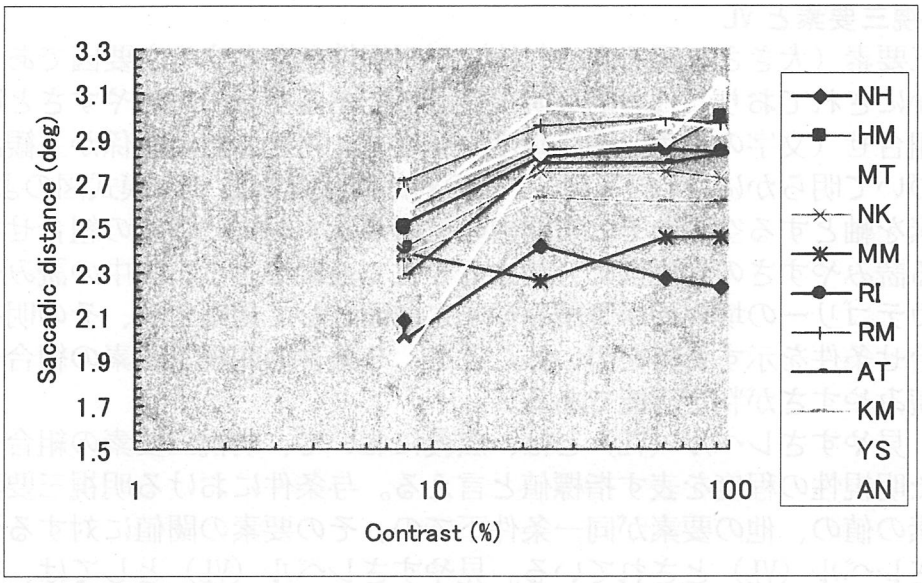


図 3-5. 文章のコントラストに対する跳躍距離の変化
図 3-4 で求めた観察者ごとの各コントラスト条件での跳躍距離の重心位置変化。ほとんどの観察者でコントラスト 10%未満とそれ以上とで明らかな跳躍距離の違いが見られる。
読みの跳躍眼球運動における距離を、被験者 1 名について、コントラスト 7%の条件について全試行の頻度分布を求めた結果の例。

で測定した一文字あたりの読み時間は、やはり 10%未満とそれ以上とで、これまでの報告と同様に、異なる傾向を示した。また、跳躍速度、停留時間についても、10%を境として、それ以下では各々、低下または増大し、それ以上ではほぼ一定の傾向を示した。従ってコントラスト 10%以下では、眼球運動は跳躍距離が減少し、跳躍速度がそれに対応して低下、さらに停留時間と読み時間が増大することが示され、いずれのパラメータも顕著でかつ互いに相関する形での影響を受けることが明らかになった。特に、停留時間と読み時間とは大変によい相関を持つことがわかる（図 3-6)。

一方、読みやすさの評価値は、コントラストに対して一様な増加傾向が見られた(図 3-7)。従って、読み速度や眼球運動はコントラストの限られた範囲(10%以下）で変化するが、主観評価値は全範囲での変化する。従って、主観尺度評価がコントラストに対してより感度が高いと考えられる。　　（氏家弘裕）

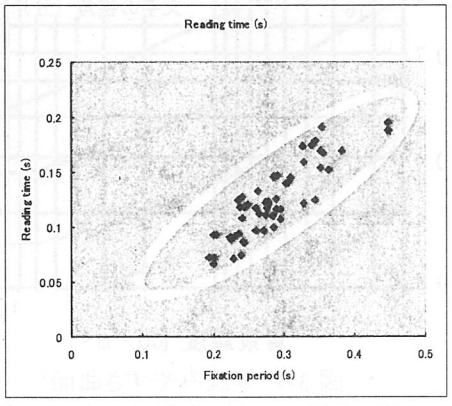


図 3-6. 停留時間と読み時間との相関

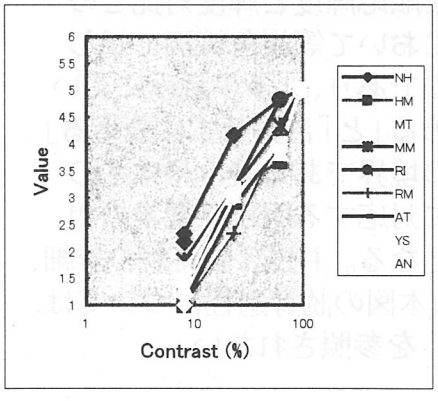


図 3-7. コントラストに対する評価値

3.3. 明視三要素と VL

明視三要素（大きさ、明るさ、対比）が明視性を左右する主要因であることは明らかにされており、代表的な明視性評価である文章の読みやすさと明視三要素の組合せ（文字の視角、順応輝度、輝度対比）との対応関係が主観評価実験に基づいて明らかにされている[1)]。その対応関係は図 3-8 の模式図のように明視三要素を軸とする空間をその空間内の位置が示す明視三要素の組合せ条件で得られる読みやすさの程度別に分割することで表現できる。図中の読みやすさの評価カテゴリーの境界面が等読みやすさ曲面として提案され、その明視三要素の組合せ条件を示す資料を用いることで、与条件の明視三要素の組合せに対応した読みやすさが判定可能である。

一方、見やすさレベル（VL）とは、広義において、明視三要素の組合せを一元化した明視性の程度を表す指標値と言える。与条件における明視三要素の内の 1 要素の値の、他の要素が同一条件下での、その要素の閾値に対する倍率が見やすさレベル（VL）とされている。見やすさレベル（VL）としては、視角の見やすさレベル[2)]、輝度対比（輝度差）の見やすさレベル[3)]、背景輝度の見やすさレベル[4)] の三者が存在する。

本節では、上述の文章の読みやすさと明視三要素の組合せとの対応関係をもとに、視角の見やすさレベル、輝度対比の見やすさレベル、背景輝度の見やすさレベルのそれぞれの明視性指標としての有効性を、ある読みやすさの程度を与える明視三要素条件について算出した各種見やすさレベルが一定値を取るか否かで検討する。尚、ここでは、文章の読みやすさの程度を示すレベルであるから、可読閾（読める状態と読めない状態の境界）に対する比率をレベルとした。

図3-9に本節の検討に用いた文章の読みやすさと明視三要素の組合せとの対応関係、すなわち、等読みやすさ曲面を示す。図は主観評価実験で得られた評価の50％が「苦労せずに読める」以上の評価になるのに必要な文字の視角を順応輝度と輝度対比との関係において等視角線図で示したものであり、「多少読みにくいが読める」と「苦労せずに読める」評価の境界である読みやすさの水準に対応する明視三要素の組合せとなる。主観評価実験の詳細、及び、本図の誘導過程については、既報[1)] を参照されたい。

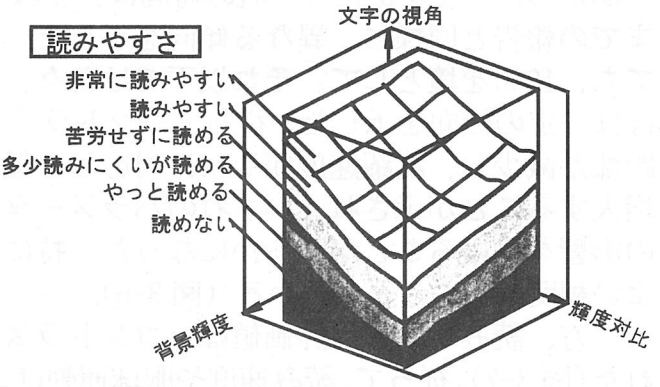


図 3-8 明視三要素の組合せと読みやすさとの対応関係

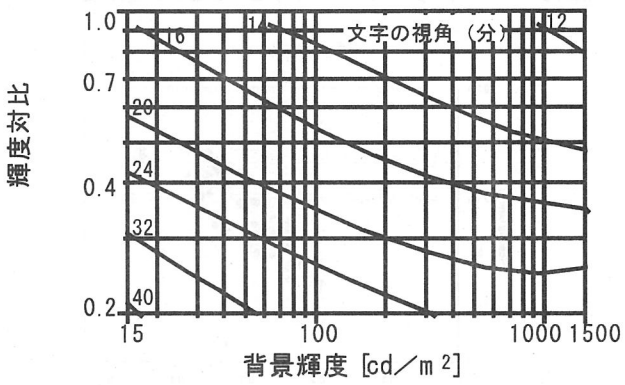


図 3-9 等読みやすさ曲面
水準:評価の 50％が「苦労せずに読める」

読みやすさに対応した見やすさレベル（VL）の算出に必要な明視三要素の可読閾値は、可読性についての文字の視角の閾値がランドルト環の視角の閾値の10倍であること[5]から、伊藤・中根らによるランドルト環の明視三要素の閾値を示した等視力曲線[6]（図3-10）の視角を10倍にしたものを採用した。

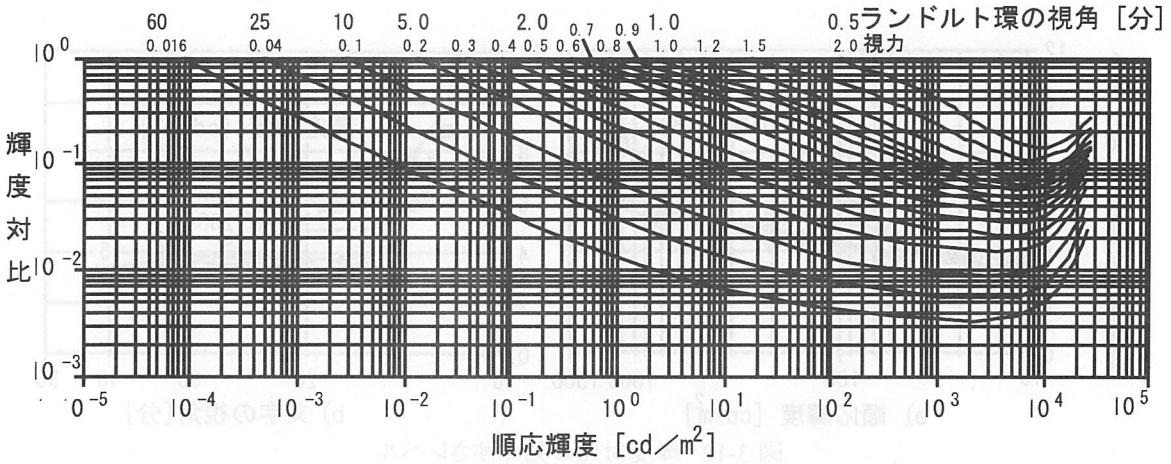


図3-10 等視力曲線

次に、これらのデータから算出した読みやすさの程度が等しい状態における各種見やすさレベルを順に示す。見やすさレベルが明視性の程度を表す指標値として有効であれば、以下に示す各種見やすさレベルは一定値となる。

・「苦労せずに読める」に対応する視角の見やすさレベル

図3-11に順応輝度、及び、輝度対比と視角の見やすさレベルとの関係を示す。図3-11-a)より視角の見やすさレベルは順応輝度が高いほど高くなり、明視三要素の組合せを一元化した指標値となり得ていない。図3-11-b)より視角の見やすさレベルは順応輝度には依存しているものの輝度対比に対してはほぼ一定値となる。順応輝度に対してのみ補正すれば、明視性についての有効な指標値の誘導が可能と考える。

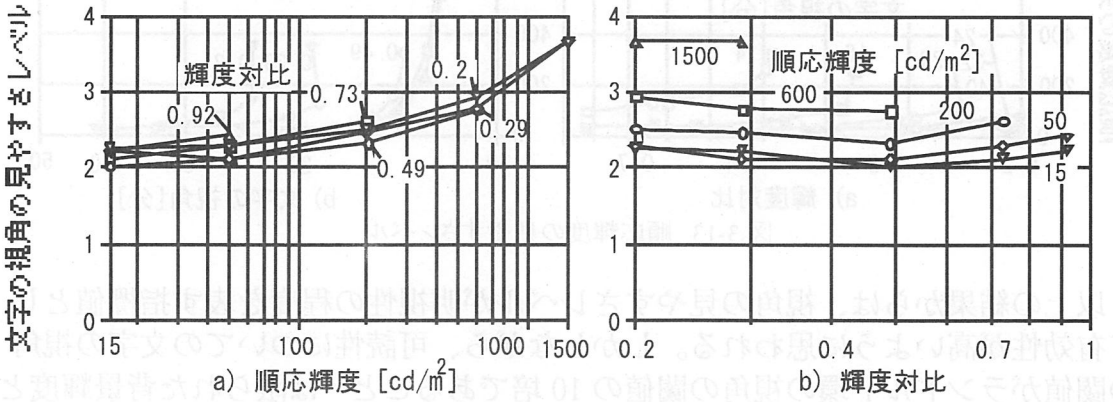


図3-11 文字の視角の見やすさレベル

・「苦労せずに読める」に対応する輝度対比の見やすさレベル

図3-12に順応輝度、及び、文字の視角と輝度対比の見やすさレベルとの関係

を示す。輝度対比の見やすさレベルは、図 3-12-a)より順応輝度が高いほど高くなり、図 3-12-b)より文字の視角が大きくなるほど低くなる。いずれも、輝度対比の見やすさレベルが明視三要素の組合せを一元化した指標値となり得ていない。

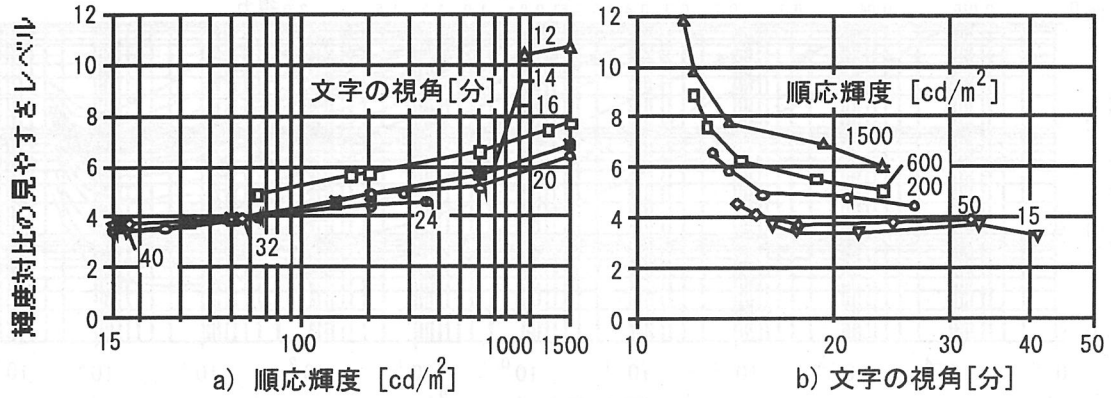


図 3-12 輝度対比の見やすさレベル

・ **「苦労せずに読める」に対応する順応輝度の見やすさレベル**

図 3-13 に輝度対比、及び、文字の視角と順応輝度の見やすさレベルとの関係を示す。順応輝度の見やすさレベルは、図 3-13-a)より輝度対比が高いほど低くなり、図 3-13-b)より文字の視角が大きくなるほど低くなる。いずれも、順応輝度の見やすさレベルが明視三要素の組合せを一元化した指標値となり得ていない。

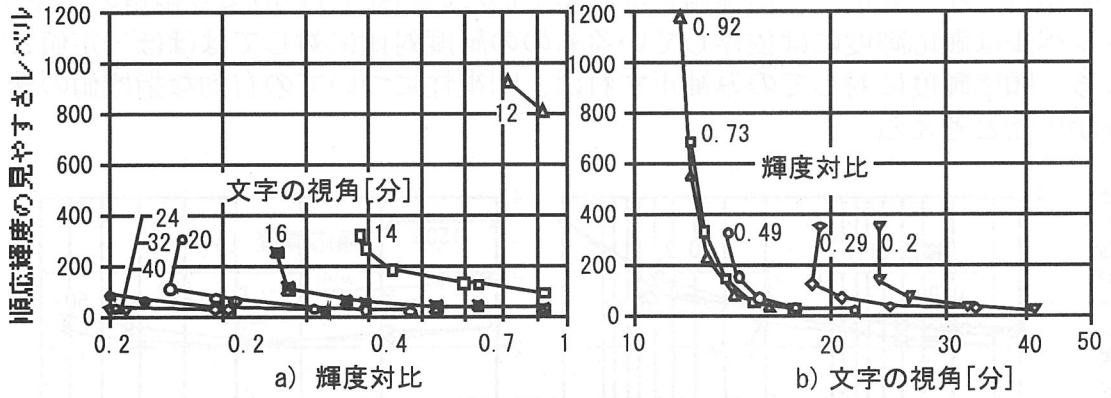


図 3-13 順応輝度の見やすさレベル

以上の結果からは、視角の見やすさレベルが明視性の程度を表す指標値として有効性が高いように思われる。しかしながら、可読性についての文字の視角の閾値がランドルト環の視角の閾値の 10 倍であること[5]は限られた背景輝度と輝度対比の範囲（背景輝度 1400cd/m²、対比 0.92, 0.50, 0.22）についてしか確認されていない。本検討での輝度対比及び背景輝度の見やすさレベルの算出に用いた輝度対比の閾値・背景輝度の閾値のような背景輝度と輝度対比が非常に小さな値の範囲においても有効であるかは疑問が残る。したがって、本検討の

みで明視性指標として視角の見やすさレベルが他のレベルよりも有効性が高いと結論づけることはできない。とはいうものの、現在入手可能な基礎データを用いて読みやすさの程度を検討する上では、視角の見やすさレベルの有効性が高いと言える。

次に、明視三要素の可読閾値を上述の標準等視力曲線から誘導するのではなく、主観評価実験により得られた「読めない」と「やっと読める」評価の境界となる読みやすさに対応した明視三要素の組合せから求めた視角の見やすさレベルを示す。なお、既報[1]の主観評価実験の結果からは、「やっと読める」評価に必要な明視三要素に基づいた背景輝度の見やすさレベルと輝度対比の見やすさレベルの算出が可能なデータは得られていない。

・「やっと読める」評価に必要な視角から算出した「苦労せずに読める」に対応する視角の見やすさレベル

図 3-14 に順応輝度、及び、輝度対比と視角の見やすさレベルとの関係を示す。図 3-14-a)より視角の見やすさレベルは輝度対比が低い条件で高い値を示すものの、順応輝度に対してはほぼ一定値となる。図 3-14-b)より視角の見やすさレベルは輝度対比が低いと高くなりばらつく傾向が見られるものの、0.5 以上であれば輝度対比に対してほぼ一定値を示している。同じ文字の視角の閾値を示す図 3-11 に比べて、順応輝度に対しても文字の視角の見やすさレベルが一定値となり、明視三要素の組合せを一元化した指標値としての有効性がさらに高くなっている。「やっと読める」評価に必要な視角、すなわち、可読閾値が精度良く算定できれば文字の視角の見やすさレベルが明視性の指標値としての有効性が高くなると考える。

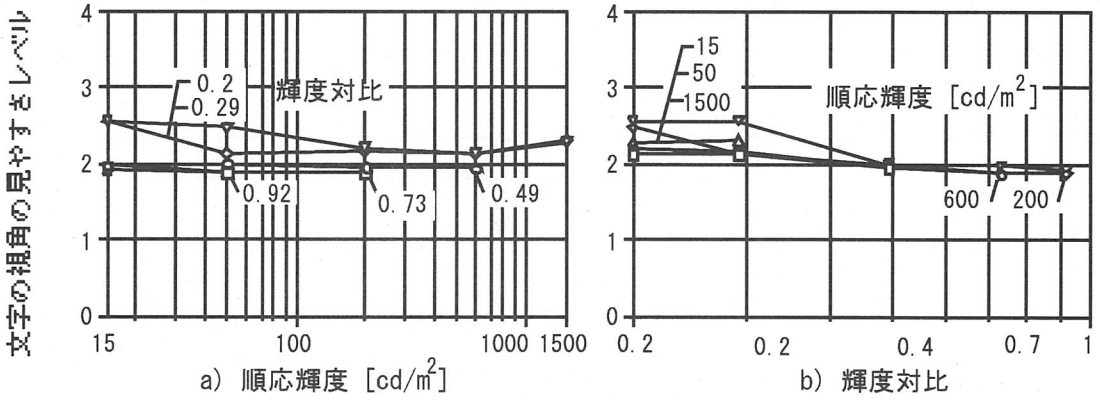


図 3-14 「やっと読める」評価に必要な視角から算出した文字の視角の見やすさレベル

まとめ

各種 VL（視角の見やすさレベル、輝度対比の見やすさレベル、背景輝度の見やすさレベル）の明視性指標としての有効性を検討した結果、現在入手可能な基礎データを用いて読みやすさの程度を検討する上では、視角の見やすさレベルの有効性が高いこと、可読閾値が精度良く算定できれば文字の視角の見やすさレベルが明視性の指標値としての有効性がさらに高くなることを確認した。

参考文献

1) 佐藤隆二、原直也：照明学会全国大会講演論文集, pp.130-131 (1999).
2) 佐藤隆二、伊藤克三、大野治代：照学誌, 64-10, pp.541-548 (1980).
3) Publication CIE No. 19/2.1(TC-3.1) (1981).
4) 中根芳一：照学誌, 65-10, pp.534-540(1981).
5) 伊藤克三、大野治代、佐藤隆二：日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.175-176(1977).
6) 中根芳一、伊藤克三：建学論, 229, pp.101-109 (1975).

3.4. 文章の読みやすさに対する視認性評価関数の定式化

「見える－見えない」や「見えにくい－見えやすい」、あるいは「読みにくい－読みやすい」などと表現される視認性は、商品の仕様や照明の設計方法へとつながる重要な評価項目であることから、定量的に取り扱えることが望ましい。

視認性評価方法としては、視対象の輝度とその視対象の背景輝度との差が輝度差弁別閾の何倍あるのかを示したVisibility Level[1]（以下、*VL*）などの弁別閾に基づいた視認性評価方法が良く知られている。この視認性評価方法は、弁別閾という閾レベルの視特性を基礎にしていることから、道路上の落下物が視認できるかどうかというような閾レベルの視認性[2]を評価するには適していると言える。しかし、ここで対象にしている「文章の読みやすさ」は閾上レベルの問題である。視認性に関連の深いコントラスト感度特性においては、閾値と閾上でその特性が異なっている[3]ことから、閾上の視認性に対し、閾値に基づく視認性評価方法をそのまま線形的に適用することには問題がある。そこで、その対策として、2.2節では、視対象と背景との輝度差ΔLを入力変数とし、さらに、明視三要素に代表される背景輝度や視対象のサイズなどの視覚特性を変化させる要因に相当する物理量または心理物理量を変数として加えた関数 *VIF*（Visibility Index Function）に基づく視認性評価方法を提案した。

ここでは、閾上レベルの視認性である「文章の読みやすさ」に対して、視認性評価関数 *VIF*による定式化を検討すると共に、*VIF*に基づく視認性評価方法の妥当性を検証する。

今回は、定常的な視作業の視認性を支配する要因として、広く知られている背景輝度、文字の視角サイズ（以後、視角サイズと呼ぶ）、そして輝度対比の明視三要素[4]と、文章の読みやすさ評価値との関係を実験的に明らかにした佐藤・原の研究報告[5)6)]のデータを用いて、視認性評価関数の定式化の検討を行った[7]。

佐藤・原[5]は、輝度が一様な視野の視線上1[m]先に平易な日本文を視対象として呈示して、読みやすさを評価させる実験を行った。図3-15はそれら実験結果の一部であり、「多少読みにくいが読める」と「苦労せずに読める」の境界の評価を与える明視三要素の関係を示したものである。図3-15の曲線上の点は同じ読みやすさであることを意味していることから、ここではこの曲線を「等読みやすさ曲線」と呼ぶことにする。今回、視認性評価関数の定式化に主として用いたのは、図3-15に代表される等読みやすさ曲線作成のもととなった実験データである[6]。これらのデータは、視角サイズ6水準、輝度対比5水準、背景輝度5水準の計150種類の実験条件に対して得られた50パーセンタイルの評価値データ（以下、佐藤・原のデータと呼ぶ）であ

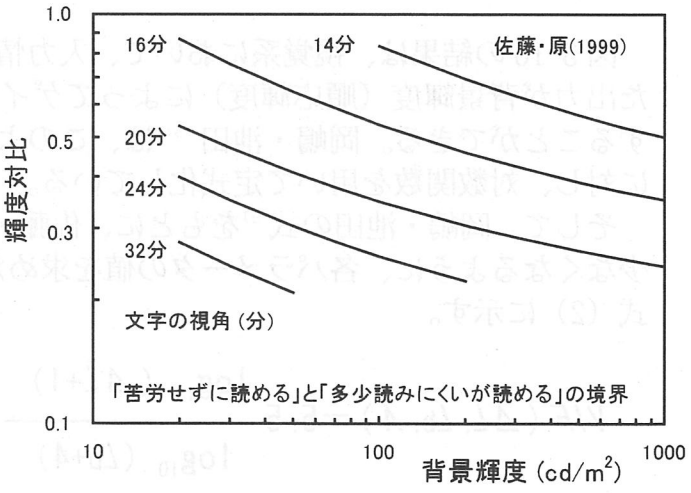


図3-15　「苦労せずに読める」と「多少読みにくいが読める」の境界の評価に対する等読みやすさ曲線[5]

る。

図 3-16 は、佐藤・原のデータから得られた、文字と背景との輝度差と 50 パーセンタイルの評価値との関係のうち、文字の視角サイズ 25[分]の結果を示す。縦軸に示されている 50 パーセンタイルの評価値は、「読めない」、「やっと読める」、「多少読みにくいが読める」、「苦労せずに読める」、「読みやすい」、「非常に読みやすい」の計 6 段階の評価言語の境界にそれぞれ 1 から 5 の整数値を与えて数値化されたものである。例えば 50 パーセンタイルの評価値が 3.0 であれば、その評価値は被験者のうちの 50%が「多少読みにくいが読める」と評価し、残りの 50%が「苦労せずに読める」と評価する境界の評価値ということになる。図 3-17 に 50 パーセンタイルの評価値の数値と評価カテゴリーとの関係を示しておく。

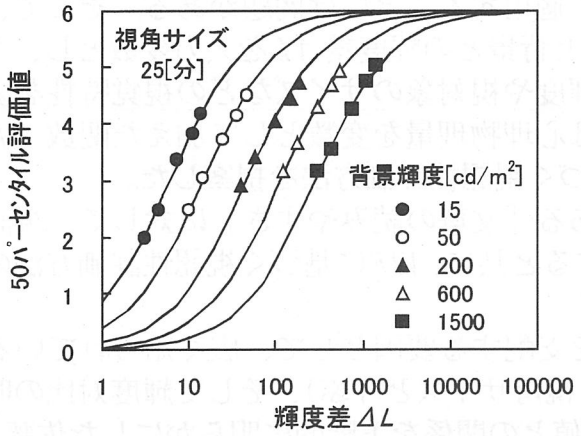


図 3-16　輝度差と 50 ﾊﾟｰｾﾝﾀｲﾙ評価値との関係

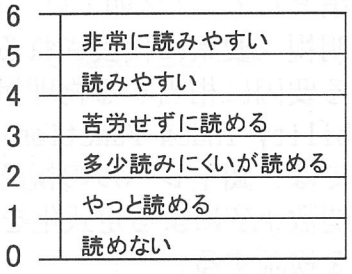


図 3-17　心理評価値と評価カテゴリーとの関係 [6]

図 3-16 の各曲線は以下の(2)式に示す視細胞の出力関数として知られる S 字関数であり [8]、実験値に最も合致するように、曲線毎に順応定数 α を求めている。

$$S(\Delta L) = 6 \cdot \Delta L / (\Delta L + \alpha) \cdots\cdots (1)$$

図 3-16 の結果は、視覚系において、入力情報である輝度差の非線形変換された出力が背景輝度（順応輝度）によってゲインコントロールされていると解釈することができる。岡嶋・池田 [9] は、このような閾上レベルにおける視覚特性に対し、対数関数を用いて定式化している。

そして、岡嶋・池田の式 [9] をもとに、佐藤・原のデータ [2] に対して誤差が最も少なくなるように、各パラメータの値を求めた結果得られた関数 *VIF* を以下の式（2）に示す。

$$VIF(\Delta L, Lb, A) = 5.5 \frac{\log_{10}(\Delta L+1)}{\log_{10}(Lb+4)} + 5.5\log_{10}A - 8.7 \quad \cdots (2)$$

ただし，ΔL：輝度差[cd/m^2]，Lb：背景輝度[cd/m^2]，A：文字の視角サイズ[分]

図 3-18 は、この式（3）により計算された *VIF* 値と、50 パーセンタイル値との関係を示したものであるが、視認性評価関数 *VIF* が、佐藤・原のデータを精度良く予測できることを示している（相関係数 0.98）。

さらに、*VIF* の視認性評価関数としての妥当性を検証するために、関数 *VIF* が他の実験結果に対しても適用できるかを検討する。

Inoue&Akizuki[10] は、読書作業を想定した実験条件下で、B5 サイズの紙面に印刷された日本語の文章を 40[cm]前後の観察距離に呈示して、読みやすさ評価をさせる実験を、若年者（平均 23 才）と高齢者（平均 70 才)に対して行っている。今回の検討では、若年者に対するデータのみを対象とする。それら実験結果の一部（輝度対比 0.93）を図 3-19 に示す。図 3-19 は、実験で用いた 6 段階の評価尺度である「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」の各評価語のうち、「普通に読める」以上（「普通の読める」～「非常に読みやすい」）の評価となる累積確率 20、50、80 [%]を得ることのできる照度と視角サイズとの関係を示している。

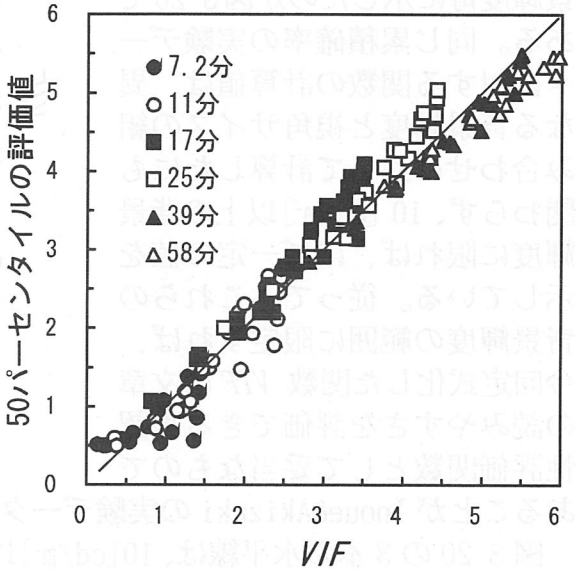


図 3-18　*VIF* と 50 ﾊﾟｰｾﾝﾀｲﾙ評価値との関係

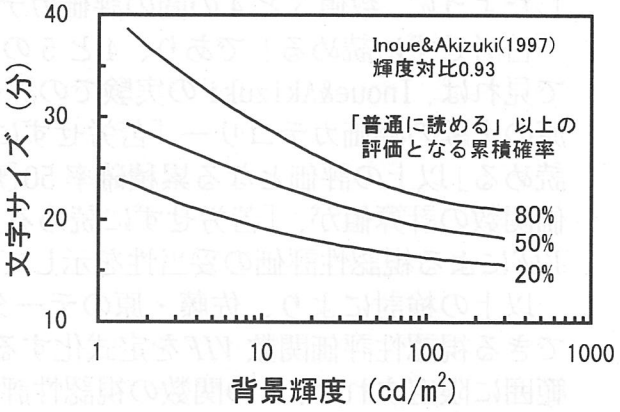


図 3-19　「普通に読める」以上の評価となる累積確率 20，50，80[%]を得ることのできる照度と視角サイズとの関係[10]（輝度対比 0.93）.

図 3-19 に示されているグラフから、「普通に読める」以上の評価となる累積確率 20、50、80[%]毎に、16 段階の照度 E [lx]（1, 2, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50, 70, 100, 200, 300, 500, 700, 1000）に対応する視角サイズ A [分]を読みとった。背景輝度 Lb [cd/m^2]は、実験での視対象の文字の背景を構成している紙面の反射率 0.89 と照度 E [lx]とから求め（Lb＝E×0.89/π）、輝度差 ΔL は、固定された実験条件である輝度対比 0.93 並びに背景輝度 Lb [cd/m^2]とから求めた（ΔL＝Lb×0.93）。以上の手順で累積確率毎に得た背景輝度 Lb [cd/m^2]、輝度差 ΔL、視角サイズ A [分]は、同じ読みやすさ評価となるパラメーターの組み合わせとなるので、ここで検討する関数が文

章の読みやすさを評価できる視認性関数として妥当なものであれば、その計算値は視角サイズ、背景輝度によらず一定の値を示すはずである。

関数 *VIF* に対する計算値を背景輝度毎に示したのが図3-20である。同じ累積確率の実験データに対する関数の計算値は、異なる背景輝度と視角サイズの組み合わせに対して計算したにも関わらず、10 [cd/m^2]以上の背景輝度に限れば、ほぼ一定の値を示している。従って、これらの背景輝度の範囲に限定すれば、今回定式化した関数 *VIF* は文章の読みやすさを評価できる視認性評価関数として妥当なものであることがInoue&Akizukiの実験データに対しても示された。

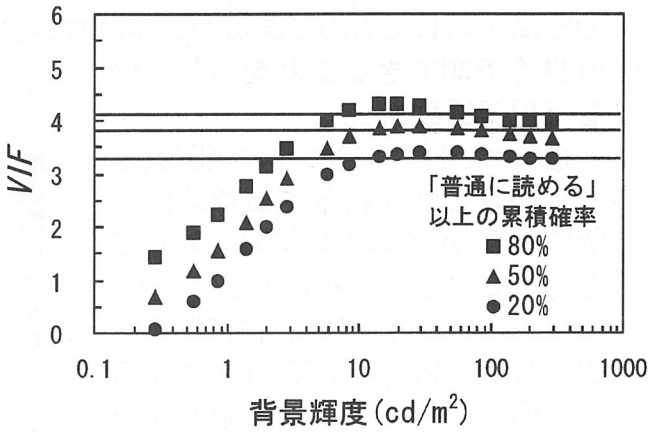


図 3-20　Inoue&Akizuki[10] の実験データに対する視認性評価関数 VIF の計算値 [7]

図3-20の3本の水平線は、10[cd/m^2]以上のデータに対する平均値をその値と共に示したものであるが、今回検討した3段階の累積確率20、50、80[%]の読みやすさレベルに対する平均値は3.3から4.1の範囲に入っている。図3-17に示したように、数値3と4の間の評価カテゴリーは、佐藤・原[6]の実験結果では、「苦労せずに読める」であり、4と5の間は「読みやすい」である。尺度の順序で見れば、Inoue&Akizukiの実験での評価カテゴリー「普通に読める」は、佐藤・原の実験の評価カテゴリー「苦労せずに読める」に相当する。従って、「普通に読める」以上の評価となる累積確率50[%]の読みやすさレベルに対する視認性評価関数の計算値が、「苦労せずに読める」のカテゴリーに入っていることもまた、*VIF*による視認性評価の妥当性を示していると言えよう。

以上の検討により、佐藤・原のデータでの読みやすさ評価値を精度良く推定できる視認性評価関数 *VIF*を定式化することができた。さらに10[cd/m^2]以上の範囲に限定すれば、この関数の視認性評価関数としての妥当性はInoue&Akizukiのデータに対しても示された。この10[cd/m^2]以上の輝度範囲は、紙面の反射率が80[%]前後だとすると 50[lx]以上の照度レベルの範囲に相当する。実際の照明設計や商品開発への適用を考えれば、この輝度範囲内で文章の読みやすさの評価ができれば十分であろう。

なお今回の検討で用いた佐藤・原のデータが示す50パーセンタイルの評価値は、間隔尺度であることが保障されていない[5) 6)]。従って現段階では、視認性評価関数 *VIF* の計算値に対しては、どの評価カテゴリーに属しているのかという意味（例えば、計算値が 1.7 であれば「やっと読める」と評価される）のみで解釈するのが現段階では望ましい。一方で視認性評価関数 *VIF* の計算値が示す尺度の等間隔性の確認や検討も今後必要である。

2.2節でも述べたように、本来 *VL* などの閾値に基づく視認性評価方法は、計

算された *VL* 値が 1 を越えるか越えないかという閾レベルの視認性評価に適用されるものである。しかし、今回の検討対象である「文章の読みやすさ」などの閾上レベルの視認性に関しては、以上の一連の検討でその妥当性を示したように、今回提案した視認性評価関数 *VIF* に代表される閾上レベルの情報処理プロセスに基づく評価方法を構築したほうが、よりシンプルで幅広い応用展開が期待できる。

（岩井 彌・岡嶋 克典）

参考文献

1）CIE Publication No.19/2.1 and No.19/2.2,"An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance"(1981).

2) K. Narisada, T. Saito, Y. Karasawa:"Perception and Road Lighting Design", Proceeding of SANCI, pp.83-86(1996).

3) M. A. Georgeson and G. D. Sullivan:"Contrast Constancy : Debluring in Human Vision by Spatial Frequency Channels", J. Physiology, 252, pp.627-656 (1975).

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」，建学論，229，pp.101-109（1975）.

5）佐藤隆二，原　直也：「明視三要素で構成される 3 次元空間における種々の見やすさレベルを表す曲面」，照学全大，pp.130-131（1999）

6）原　直也：「視覚情報機器併用時の見やすさに基づく室の視環境設計に関する研究」，大阪大学博士論文（1999）.

7）岩井　彌，岡嶋克典：「文章の読みやすさの定式化　－視認性評価関数の導出－」，照学全大，p.212（2001）.

8）重松征史，菅野義之：「視覚神経系の変換関数に基づく明度尺度」，照学誌，70，pp.268-272（1986）.

9）岡嶋克典，池田光男：「白色光における輝面色モードと表面色モードの見えの定式化」，光学，18，pp.558-564（1989）.

10) Y. Inoue and Y. Akizuki:"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).

3.5. ディスプレイ上での可読性実験

VDT（Visual Display Terminal）上の文章はどのような表示形態が読み易いのか。どのような規格がどのような根拠に基づき制定または勧告されているのか。これらの疑問に答えるために、照明学会「視認性に関する調査研究委員会」では、VDT に関係する様々な団体からの文字の表示形態の種々の特性についての規格について調査した（第 4 章参照）。国内外の諸団体から種々の規格が勧告されていることが明らかとなったが、各々の規格値が人間の視覚特性や視認性の観点から見てどのような根拠に基づいているのか、については不明な点が多かった。

一方、読み易い文字表示についての学術文献は多数存在するが [1)~8)]、研究対象としている特性が広範囲にわたりすぎて、規格値との関係を直接的に議論できるものは少ない。

そこで本節では、文字の表示形態特性のうちコントラストと文字サイズに注目し、それらの項目について JIS の表示規格（輝度比 3 以上、文字サイズ（漢字で視角 25 分以上）が、文章を判読するのに適切かどうか検証することを第 1 の目的とする実験を紹介する。この実験においては、規格値の検討と同時に、同じ輝度比の場合に、背景より文字が暗い場合と明るい場合で相違があるのか、すなわちポジティブ及びネガティブコントラストについても、限られた条件下ではあるが実験的に検討した。

3.5.1. コントラスト

背景と図（本研究では文字）のコントラストの定義にはいくつかあるが、本研究では輝度比（最大輝度／最低輝度= Lmax/Lmin）をコントラストとして用いた。本研究においては、文字より背景が明るい場合をポジティブコントラスト、文字より背景が暗い場合をネガティブコントラストと定義する。

3.5.2. 刺激

刺激は 20 文字×5 行 の文章で、文字のサイズは、12pt （実測 2.49mm）、15pt（実測 3.12mm）、24pt （実測 4.58mm）の 3 通りである。文字数一定にしたので、文章全体のサイズは文字サイズにより異なる。

採用した輝度比は、黒背景（約 5cd/m^2）及び白背景条件で約 1.1ー10 以上までの 11 通り、灰色背景ポジティブ条件で約 1.1～5 までの 9 通り、灰色背景ネガティブ条件で約 1.1～4 までの 8 通りである。

3.5.3. 実験手順

CRT で呈示した刺激文章を被験者に音読させ、その読み時間、また文章の読み易さの主観評価得点を調べた。読み時間は、刺激が呈示されてから被験者が応答用の Ten キーでリターンを押すまでの時間を測定した。

主観評価の得点は、全く読めないを 0、非常に読みづらいを 1、やや読みづらいを 1、ふつうを 3、やや読み易いを 4、非常に読み易いを 5、とし、間の点数（例えば 2.4 など）を答えることも許した。

実験全体では、コントラスト39条件×文字サイズ3通り×繰り返し5試行=585試行となる。1セッション約30試行とし、各被験者について20セッションずつ行った。

3.5.4. 実験装置

図3-21に実験装置の模式図を示す。刺激呈示には17インチCRTを用いた。画面設定は、色温度6500K、ブライトネス設定は0、コントラスト設定は100%とした。CRTの前面に縦×横が視角で10°×13°のサイズとなる観察窓を開けた黒いマスクを置き、その中央部に刺激が呈示されるようにした。被験者はあご台で顔の位置を固定した。観察距離は約47.2cmである。ブースは暗幕で囲まれており、机上面照度はおよそ500lxとなるようにブース天井の蛍光灯を調光した。

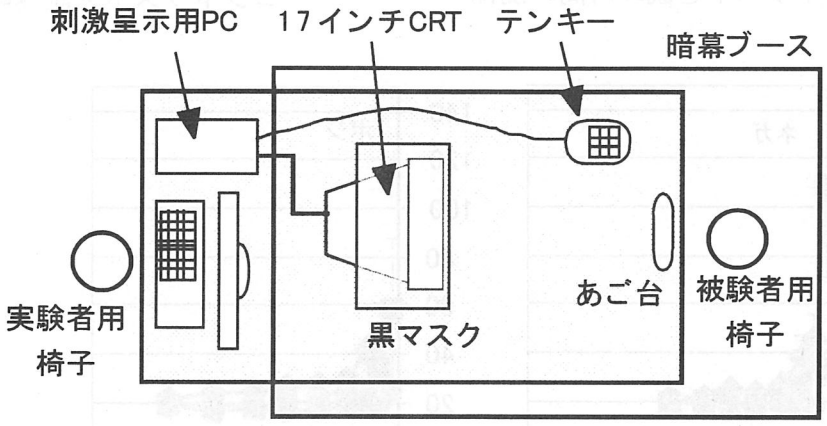


図3-21　実験装置

3.5.5. 被験者

被験者は２０代の男性4名で行った。裸眼とコンタクトレンズ着用が1名ずつ、眼鏡着用が2名で、(矯正)視力は1.2～2.0であった。

3.5.6. 結果

読み時間の結果を図3-22～図3-24に示す。各々黒背景条件、白背景条件、灰色背景条件の結果で、異なる文字サイズの結果は異なるシンボルでプロットされている。

図3-22において、どの文字サイズにおいても輝度比の増大と共に読み時間は減少し一定値に近付く。12pt、15pt、24ptで各々輝度比10、5、1.5の付近で読み時間は約20秒になり、それ以上輝度比が増大しても読み時間が早くなることはない。同様の傾向は図3-23及び図3-24においても見られる。しかし文字サイズによる相違は黒背景条件ほど顕著ではない。どの条件でも輝度比がある値を越えると読み時間は一定値約20秒に落ち着く。読み時間一定となる輝度比は

背景及びポジティブ表示かネガティブ表示かによって異なる。

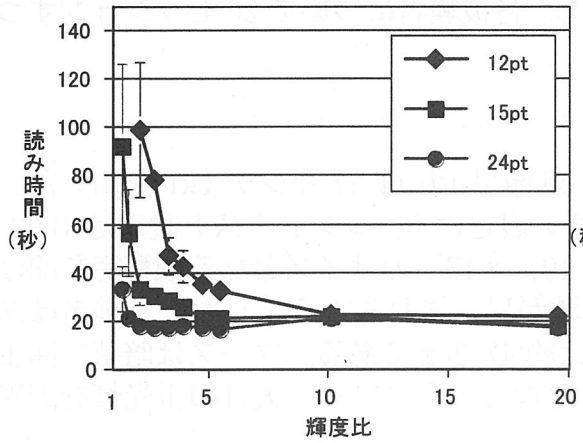


図 3-22.　黒背景における
コントラストと読み時間の関係

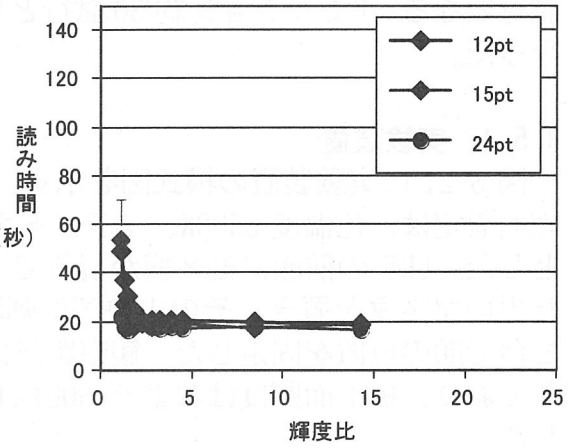


図 3-23.　白背景における
コントラストと読み時間の関

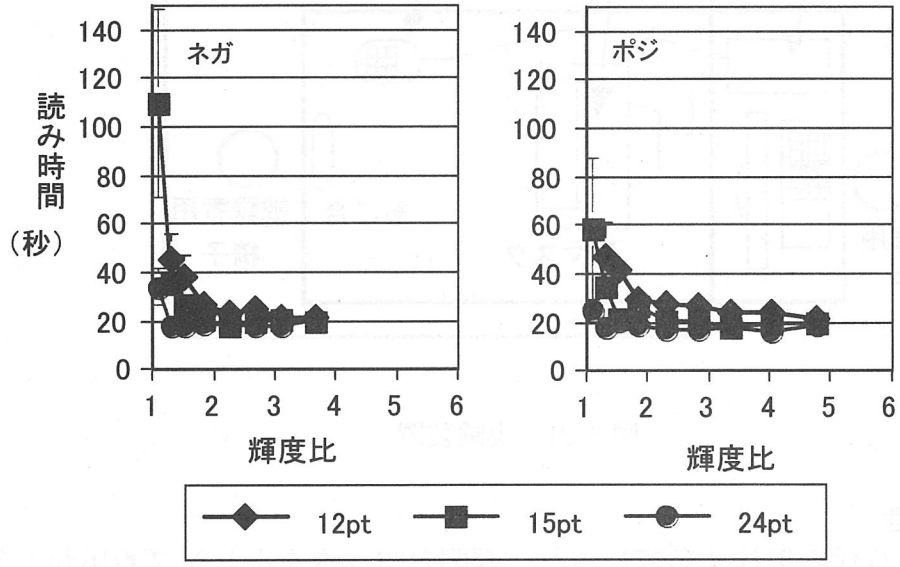


図 3-24.　灰色背景におけるコントラストと読み時間の関係

次に主観評価値の結果を図 3-25～図 3-27 に示す。各々黒背景条件、白背景条件、灰色背景条件の結果で、異なる文字サイズの結果は異なるシンボルでプロットされている。どの文字サイズにおいても輝度比の増大と共に主観評価値は上昇し、一定値に漸近する傾向が見られる。ただし評価値 5（非常に読み易い）に漸近するのは黒背景及び白背景条件における 24pt のみで、他の条件ではその評価値まで到達しない。12pt では白背景条件における最高輝度比で評価値が 4 点弱が最高点であり、他の背景条件では評価値 3（ふつうに読める）に達するかどうかというレベルである。

すべての条件において、読み時間一定となるコントラストにおける主観評価

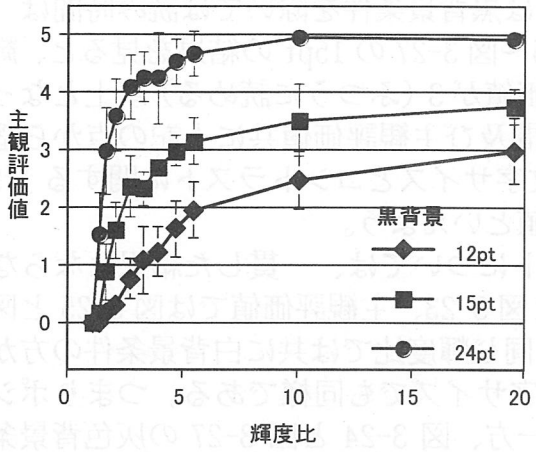


図 3-25.　黒背景における
コントラストと主観評価値の関係

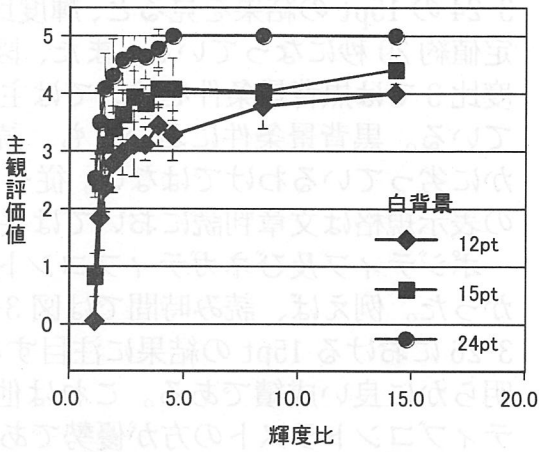


図 3-26.　白背景における
コントラストと主観評価値の関係

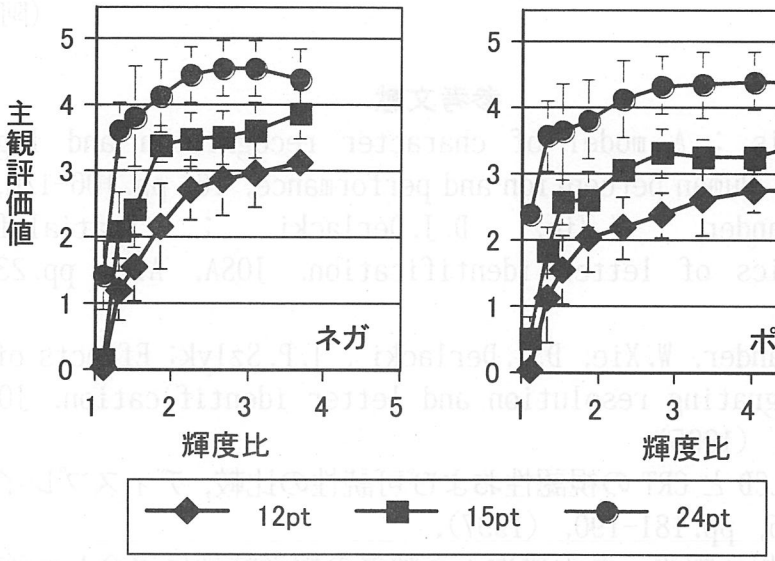


図 3-27.　灰色背景におけるコントラストと主観評価値の関係

値は 2.5～3.5 であったので、「ふつうに読める」という判断は、十分に読み易いコントラストと同じ速度で読めることが基準になっていると考えられる。

また、すべての条件において、読み時間一定となる輝度比を過ぎても主観評価値はさらに上昇している。このことは、読み易さの主観評価は、読み時間だけでは決まらないことを示唆している。12pt や 15pt で主観評価値が「非常に読み易い」というレベルまで上がりきらない結果と合わせて考えると、読み易さの判定には、十分な大きさの文字サイズと普通の速度で読めるより以上の明瞭な背景との輝度比とが要求されていると考えられる。

JIS の表示規格の検討という観点からは、文字サイズ 15pt(実測 3.12mm)は 47.2cm の観察距離からは視角約 23 分で、今回採用した 3 種の文字サイズ中最も規格値 25 分に近い。コントラストの規格値は輝度比 3 以上である。図 3-22～図

3-24 の 15pt の結果を見ると、輝度比 3 では黒背景条件を除いては読み時間は一定値約 20 秒になっている。また、図 3-25～図 3-27 の 15pt の結果を見ると、輝度比 3 では黒背景条件を除いては主観評価値が 3（ふつうに読める）以上となっている。黒背景条件においても、読み時間及び主観評価値共に上記の点から遜かに劣っているわけではない。従って、文字サイズとコントラストに関する JIS の表示規格は文章判読においては妥当な値といえよう。

ポジティブ及びネガティブコントラストについては、一貫した結果とならなかった。例えば、読み時間では図 3-22 と図 3-23、主観評価値では図 3-25 と図 3-26 における 15pt の結果に注目すると、同じ輝度比では共に白背景条件の方が明らかに良い成績である。これは他の文字サイズでも同様である。つまりポジティブコントラストの方が優勢である。一方、図 3-24 と図 3-27 の灰色背景条件でのポジティブ及びネガティブコントラストの比較では、特に主観評価値においてネガティブコントラストの方が優勢となっている。背景レベルの影響がある可能性も否定できない。さらなる検討が必要である。

（阿山みよし）

参考文献

(1) J.M.Loomis : A model of character recognition and legibility. J.Exp.Psycol. Human perception and performance, 16, pp.106-120, (1990).

(2) K.R.Alexander, W.Xie, D.J.Derlacki : Spatial-frequency characteristics of letter identification. JOSA, A11, pp.2375-2382, (1994).

(3) K.R.Alexander, W.Xie, D.J.Derlacki , J.P.Szlyk: Effects of spatial sampling on grating resolution and letter identification. JOSA, A12, pp.1825-1833, (1995).

(4) 窪田悟：LCD と CRT の視認性および可読性の比較，ディスプレイアンドイメージング，5，pp.181-190，(1997).

(5) 窪田悟，松戸堅治，丸本耕次：高齢者の視覚特性に適合した液晶ディスプレイの文字表示条件，映像情報メディア学会誌，53-9，pp.1335-1342，(1999).

(6) 舟川政美：文字の可読性に関する実験的研究，照明学会誌，84-11，pp.785-792 ，(2000).

(7) 舟川政美：可読性に影響を与える空間要因に関する実験的研究，照明学会誌，84-11，pp.793-798 ，(2000).

(8) 舟川政美：色コントラストと可読性に関する実験研究，照明学会誌，84-11，pp.799-808 ，(2000).

第４章　ＶＤＴ作業における視認性調査研究

4.1. 表示に関する規格と視認性

VDT 作業を中心とした表示に関する規格を広範に調査し、人間の視覚特性の観点から、その規格の意味を検討する。社会の情報化に伴い VDT 作業は、一部の職種に限られたものではもはやなく、我々にとって日常生活の一部である。書物を読むこととディスプレイ上の文章を読むことは、日常生活の一側面として区別する必然性はなく、情報をもたらす媒体の差異は、意識されない方が良い。さらに、表示は増加の一途であり、利用者の側には、高齢化の問題もある。検索のしやすさ、update のし易さ、adaptive な情報提供の可能性など、VDT による情報表示の利点を活かすためにも、認知付加を最小化することは、情報表示デザインの必須要件である。

本項で比較検討する規格を以下に列挙する。畑田(1994)の表[1)]に加筆し、VDT 作業に関する最新のものの他、車載表示や弱視者用表示、広く工業製品の表示に関するものも含めた。

労働省	労働省労働基準局　VDT 作業のための労働衛生上の指針, 1985.12.
電子協	日本電子工業振興協会 VDT ガイドラインに関する調査研究報告書, 1985. 3.
VDT 分科会	通産省機械安全化無公害化委員会 VDT 分科会　指針, 1985. 3.
JIS X 6041	JIS X 6041 業務用陰極線管表示装置及びけん盤, 1992.7.
産衛学会	日本産業衛生学会 VDT 作業に関する検討委員会　勧告, 1985.7.
マスコミ文化	全国マスコミ文化共闘 VDT 労働改善の提案, 1984.2.
VDT	Cakir, Hart, & Stewart , The VDT Manual, 1980.
ZH 1/618	German Trade Cooperative Association
DIN	Deutsche Industrie Norn Standard 66234
CCITT	Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique E 220, E 221
ECMA	Europian Computer Manufactures Association TR-22
ANSI	American National Standard for Human Factors Engineering of Visual Display Terminal Workstations. The Human Factors Society, American National Standard Institute, ANSI/HFS 100, 1988.
JIS Z 8513	JIS Z 8513(ISO 9241-3) 人間工学ー視覚表示装置を用いるオフィス作業ー視覚表示装置の要求事項(1992) 及び JIS Z 8518(ISO 9241-8) 人間工学ー視覚表示装置を用いるオフィス作業ー表示色の要求事項(1998)
ATIS	Human factors design guidelines for advanced traveler information systems(ATIS) and commercial vehicle operations(CVO) FHWA-RD-98-057, 1998.
Lighthouse	Print legibility and partial sight. Guidelines for designing legible text. The Lighthouse Inc.
OSHA	Working safety with video display terminals, U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration,OSHA 3092, 1997.

4.1.1. コントラスト・周囲の明るさ・表示輝度

コントラストの定義は、複数存在する。規格の多くは、$C=L_{MAX}/L_{MIN}$ を採用、他方、視覚研究では $C_M=(L_{MAX}-L_{MIN})/(L_{MAX}+L_{MIN})$ が広く使用され、これは $\Delta L/L_{AVE}$ に等価である（L_{MAX}:最高輝度、L_{MIN}:最低輝度、ΔL:輝度の増分もしくは減分、L_{AVE}:平均輝度）。$C_B=\Delta L/L_{BK}$（L_{BK}:背景輝度）は、$C_M=\Delta L/L_{AVE}$ と式は異なるが、同様の考え方が背景にある。即ち、コントラスト知覚は順応輝度に依存して変動するのである。多くの規格が、「調節可能であること」、「$C\geqq3$($C_M\geqq0.5$)である

こと」を指定している（表 4-1）。読み速度を指標とした研究では、C_M=0.1 以下にならないとコントラスト低下の影響は現れないが、可読閾を測定した研究では、コントラストの効果は連続的である[2)]。

考慮すべき点は、VDT 作業では観察者はディスプレイのみを見ているわけではなく、従って、明暗順応がディスプレイの平均輝度によって決まらないことである。眼の順応状態に主要な影響を与えると考えられる周囲の明るさに関する規定は、「水平面照度で 250-1500 lx の範囲で、多くは 300-500 lx」である。原稿面の反射率を 0.9 とすると、照度 300-500 lx は、輝度 86-143 cd/m^{2}に換算される。原稿面の輝度と輝度レベルを合わせること（輝度分布の均一性）が正解ならば、ディスプレイの平均輝度で 115 cd/m^{2}程度必要ということになる

表 4-1 コントラスト(最大輝度／最小輝度)・周囲の明るさ・表示輝度

・コントラストは最大輝度／最小輝度、括弧内は Michaelson Contrast=(最大輝度-最小輝度)/(最大輝度+最小輝度)
・暗い背景上の明るい画像表示をネガティブ表示、明るい背景上の暗い画像表示をポジティブ表示とする(JIS Z 8513)
・水平面照度はキーボードや原稿面等の水平面、鉛直面照度はディスプレイ面等の鉛直面での照度

	コントラスト	周囲の明るさ	表示輝度（文字輝度）
労働省	調節可能	水平面照度：300-1000 lx 鉛直面照度：500 lx 以下	
電子協	3 (0.5)以上に調節可能	水平面照度：300-700 lx 鉛直面照度：100-500 lx	40 cd/m^{2}以上に調節可能
VDT 分科会	3 (0.5)以上に調節可能		40 cd/m^{2}以上に調節可能
JIS X 6041	3 (0.5)以上に調節可能		40 cd/m^{2}以上に調節可能
産衛学会	ネガ表示：3 (0.5)以上、15(0.88)まで調節可能、ポジ表示：3 (0.5)以上、調節可能	水平面照度：300-1500 lx で容易に調節可	背景輝度≧10 cd/m^2（ネガ表示）
マスコミ文化	10(0.82)程度、調節可能	水平面照度：500-700 lx	背景輝度は低すぎないようにする（ネガ表示）
VDT	15-20 cd/m^2 の背景輝度に対し最低 3 (0.5)，最適 8 (0.78)－10(0.82)	300-500 lx	最低 45 cd/m^2、推奨 80-160 cd/m^2
ZH 1/618	調節可能 3 (0.5)－15(0.875)		
DIN	10 cd/m^2 の最低背景輝度に対し、3 (0.5)－15、推奨 6 (0.71)－10(0.82)	300-500 lx（ネガ表示） 500 lx 以上（ポジ表示）	
CCITT	調節可能		
ECMA	400 lx で 3 (0.5)－10(0.82)	300-500 lx	調節可能、上限 45 cd/m^2，下限はコントラスト 3 以上あればよい
ANSI	3 (0.5)以上 7 (0.75)が好ましい	200-500 lx	文字か背景のどちらか高い方が 35 cd/m^{2}以上
JIS Z 8513	3 (0.5)以上	250-500 lx（想定照度）	文字か背景のどちらか高い方が 35 cd/m^{2}以上
ATIS	3 (0.5)以上 7 (0.75)が好ましい		
Lighthouse	できるだけ高く ネガ表示の方が読みやすい		
OSHA		水平面照度：538-1076 lx 鉛直面照度：301-538 lx 均一照明	

が、規定では、「表示されるパタンや背景のうち明るい方が 35-45 cd/m^2 以上」とある。ディスプレイの平均輝度に順応しているならば、コントラスト C=3(CM=0.5)以上は、適正と判断できるが、より高い輝度に順応している状態で適正である保証はない。図 4-1 は、文字に隣接するエッジ（表示枠）が可読性に与える影響について行った実験結果であるが（可読性評価の考え方及び方法については 3.2.1 節参照）、周囲より暗い窓の中に呈示される文字が、周囲より明るい窓の中に呈示される文字より、可読性が低いことを示している。明るい室内照明に順応しながら、暗いディスプレイを見ている場合、同様のことが起こっているかもしれない。

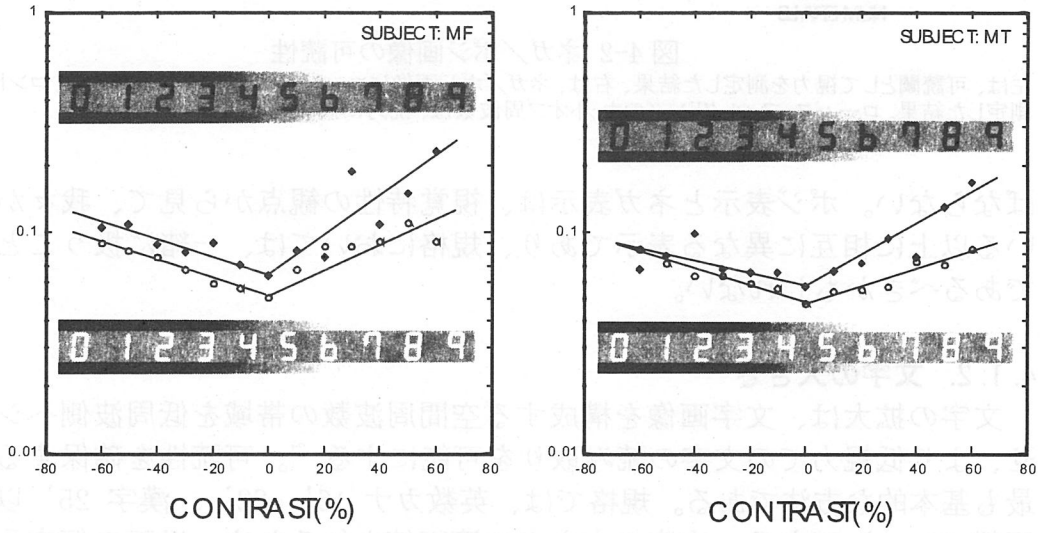


図 4-1 文字に隣接するフレームが可読性に与える影響

文字と背景とのコントラストを一定とし、フレーム内に呈示した。フレームの周囲の輝度を変化させてフレームのコントラストを変化させた。可読閾として視力を測定した。

コントラストの規定に関して考慮しなければならないもう 1 つの点は、ネガ／ポジ表示の問題である。空間周波数分析の結果では、ネガ表示とポジ表示の構成成分は DC 成分を除いて等しく、位相関係が逆転している。ディスプレイの平均輝度が順応輝度を規定している限り、ポジ表示の方が順応輝度（DC 成分のパワー）は高く、視覚系の時空間分解能から見て有利である。しかし、ディスプレイの平均輝度が順応輝度を規定している限り、図 4-1 の結果の様にネガ表示の可読性が高いことが報告されている [2)]。図 4-2 は、ネガ表示の方がポジ表示よりも低い視力で読み取り可能なこと、元画像のコントラストが同じでも、低視力事態ではネガ表示の方がポジ表示よりコントラストが高いことを示している。ポジ表示は、前述の空間分解能、焦点調節、外乱光の影響（グレア制御）、光学的歪み、嗜好の点からも有利であり、他方、ネガ表示は、眼の透光体に混濁がある場合、羞明がある場合、低視力事態で有利であるが、研究結果は必ずしも予想とは一致していない。順応輝度とディスプレイの平均輝度との不一致が、この問題を解く鍵であるかもしれないが、今後の研究を待たなけれ

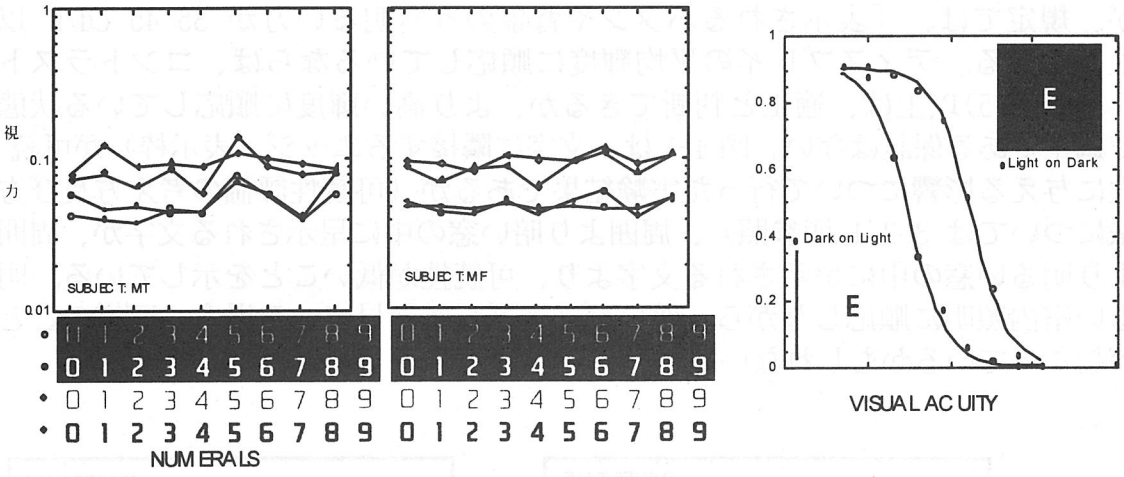


図 4-2 ネガ／ポジ画像の可読性

左は、可読閾として視力を測定した結果、右は、ネガ／ポジ画像にローパス・フィルタリングを行い、コントラストを測定した結果。ローパス・フィルタリングのカットオフ周波数は、視力に換算した。

ばならない。ポジ表示とネガ表示は、視覚特性の観点から見て、我々が思っている以上に相互に異なる表示であり、規格においては、一緒に扱うことに慎重であるべきかもしれない。

4.1.2. 文字の大きさ

文字の拡大は、文字画像を構成する空間周波数の帯域を低周波側へシフトさせ、より低視力での文字の読み取りを可能にする [2]。可読性を確保するための最も基本的な方法である。規格では、英数カナ 16'-22'、漢字 25'以上（視距離 50 cm）である。文字の大きさの適正値を知るため、以下の仮定及び計算を行った。

●読書時の平均的な視距離における視力 V を 0.8 と仮定する。

●読書の有効視野半径を 5 度とすると [3]、離心角 5 度で視力は中心視の約 30%に低下する [4]。（離心角 5 度における視力は 0.24。）

●英数文字の場合、文字の読み取りには約 2.5 cycles/character の帯域が見える必要があり [5,6]、従って、文字サイズの 1/5 のギャップを識別できる視力が必要である。仮名の場合、英数字と同程度、漢字の場合、約 5 cycles/character[7,8]であり、英数字の約２倍である。

以上の仮定に基づいて、読み取り可能な文字サイズを計算すると、英数仮名字で約 21'、漢字で 42'という値が得られる。表 4-2 に示した文字サイズに関する規定値は、ここで算出した値より小さいものがほとんどである。２番目の仮定を止め、中心視だけで計算すると、英数字 6.25' 漢字 12.5'となり、今度は規定値よりかなり小さくなる。JIS Z 8513(ISO 9231-3)及び ANSI では、「英数字 20'-22'が望ましい」としており、本節での試算と一致するが、漢字については、英数字の 1.56 倍であり、本試算の 2 倍とは差が大きい。

文字の大きさの適正値を得るため、さらに、VIF による算出を試みた（3.4 節参照）。

●規格より、背景輝度 L_B=40 cd/m^2 とする

表 4-2 文字の大きさ・視距離

	文字の大きさ	視距離	文字の大きさ（視角）
労働省	読みとりやすいものであること	40 cm 以上	
電子協	英数カナ 2.6 mm 以上（文字高）漢字 3.6 mm 以上（文字高）で視距離に応じて変化	約 50 cm 近辺で 40-70 cm	英数カナ 17.9'以上(12.8'-22.3') 漢字 24.7' 以上 (17.7'-30.9')
VDT 分科会	英数カナ 2.6 mm 以上（文字高）漢字 3.6 mm 以上（文字高）で視距離に応じて変化	約 50 cm 近辺で 40-70 cm	英数カナ 17.9'以上(12.8'-22.3') 漢字 24.7' 以上 (17.7'-30.9')
JIS X 6041	英数カナ 2.6 mm 以上（文字高）漢字 3.6 mm 以上（文字高）で視距離に応じて変化		(視距離 500 mm) 英数カナ 17.9'以上 漢字 24.7' 以上
産衛学会	半角英数カナ 3 mm 以上（文字高）全角漢字 4.4 mm 以上（文字高）		(視距離 500 mm) 半角英数カナ 20.6'以上, 全角漢字 30.2'）
マスコミ文化	8 mm 角程度		(視距離 500 mm)55'程度
VDT	最低視角 16'-20'、最低字高 3.1-4.2 mm で最低 3 mm	最大 70 cm	16'-20'以上
ZH 1/618	視角 18'（視距離 500 mm 以上の場合）最低字高 2.6 mm（視距離 500 mm 以内の場合）	50 cm	18'以上
DIN	視角 18'（視距離 500 mm 以上の場合）最低字高 2.6 mm（視距離 500 mm 以内の場合）	50-80 cm（キーボード、原稿使用時）	18'以上
CCITT	視角 15'-22'	55-69 cm が好まれる	15'-22'
ECMA	最低字高 2.9 mm		(視距離 500 mm)19.9'以上
ANSI	視角 16'-24'（20'-22'が望ましい）	30 cm 以上、35-40 cm が平均	16'-24'
JIS Z 8513	英数字 20'-22'（文字高）が望ましい、最低文字高は英数字 16'、漢字 25'、色識別が必要な場合文字高 20'以上、単独なら 45'以上、青（v'<0.2）なら 2° 以上	40 cm 以上、タッチスクリーン等では 30 cm 以上	英数字 20'-22'（文字高）が望ましい、英数字 16'以上、漢字 25'以上、色識別が必要な場合文字高 20'以上、単独なら 45'以上、青（v'<0.2）なら 2° 以上
ATIS	タイトル等 30' 以上、動的・重要項目 20'以上、静的・一般項目 16'以上		タイトル等 30' 以上、動的・重要項目 20'以上、静的・一般項目 16' 以上
Lighthouse	16-18 point 以上（3.5-4 mm 以上）		(視距離 500 mm)24.1'-27.5'以上
OSHA		46-61 cm	

●規格より、コントラスト C=3(C_M=0.5, C_B=0.67)とすると、ΔL=26.67 cd/㎡

●VIF=3（苦労せずに読める）

以上の仮定に基づいて、読み取り可能な文字サイズ S を計算すると、文字サイズ（漢字仮名交じり文）は、17.8’が得られた（漢字の規格値 25’の VIF 3.8）。漢字の規格値 25″より、多少小さめである。

しかし、このような試算の妥当性を検討しようにも、殆どの規格において、その規定値選択の根拠が明確に記載されていることは少ない。規格値の意味を正しく理解し運用するため、使いやすさへの工夫が単なる数合わせに落ちてしまわないよう、その根拠を示すべきであろう。

4.1.3. 文字の線幅、行間隔／文字間隔

線幅／文字高の値は、可読性に有意な影響を与える。図 4-3 左図 [2]は、7 段階の線幅のネガ・ポジ画像（中央）を使って、読み取りに必要な最低視力を 7 段階のコントラストで測定した結果である。線が細すぎる文字の可読性は、コントラスト低下と共に急激に低下する。他方、太すぎる文字では、コントラスト低下に伴う可読性低下は小さいが、文字形状を読み取る上で重要な特徴（開口部や間隙）が小さくなるため、全体としての可読性は低い。即ち、可読性に関して、線幅には最適値が存在し、その値は文字高の 12-16%である。この値は、表 4-3 に示した規格値とおおよそ一致している。弱視者を対象とした Lighthouse の推奨規定として、「ボールド化が読みやすい」と記述されているが、読み取りに必要な最低視力を測定した図 4-3 の結果は、弱視者にも当てはまるものであり、現実にあまり存在しない太すぎる表示を想定していない記述と解釈できる。正常視力者が良い観察条件下で見やすい細い線幅の文字は、弱視者にとっては読みにくいという意味であろう。

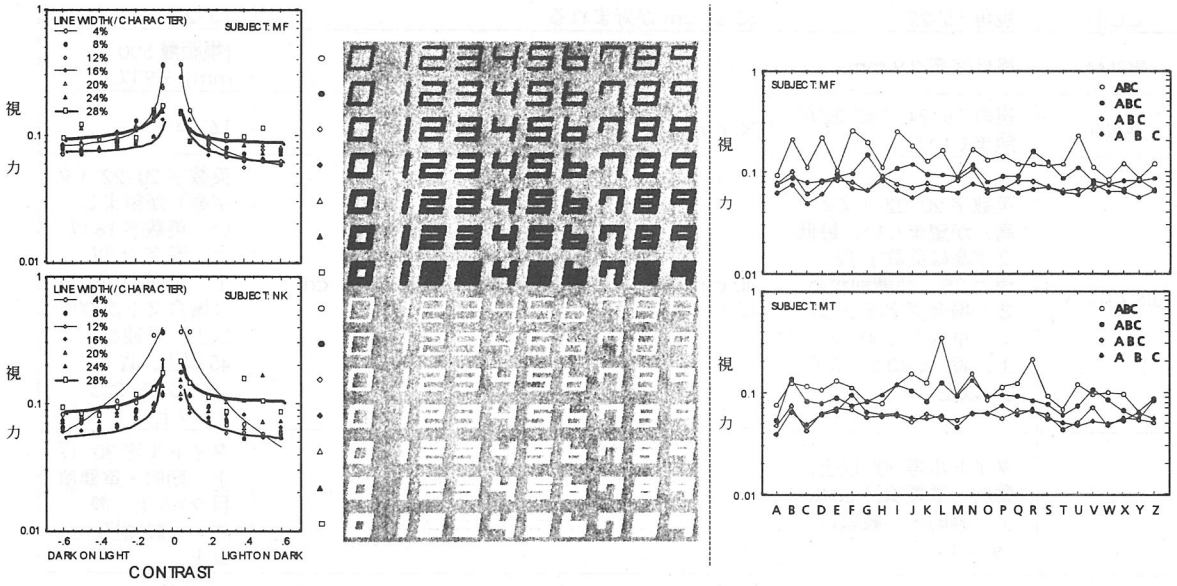


図 4-3 線幅(左)と文字間隔(右)が可読性に与える影響

表 4-3 文字の縦横比(W/H)・線幅(ストローク幅)・行間隔／文字間隔

	文字の縦横比(W/H)	線幅	行間隔／文字間隔
労働省			読みとりやすいものであること
電子協			行間隔：文字高の 60-150%（英数カナ）20-100%（漢字）、文字間隔：文字高の 20-50%（英数カナ）10-50%（漢字）
VDT 分科会			行間隔：文字高の 60-150%（英数カナ）20-100%（漢字）、文字間隔：文字高の 20-50%（英数カナ）10-50%（漢字）
JIS X 6041	0.5-0.8（英数カナ）、0.8-1.2（漢字）		行間隔：文字高の 60-150%（英数カナ）20-100%（漢字）、文字間隔：文字高の 20-50%（英数カナ）10-50%（漢字）
産衛学会	全角文字 0.5-1、半角文字 0.7, >0.5		行間隔：狭すぎてはならない、任意に容易に調節可、文字間隔：線の太さ以上
マスコミ文化			
VDT	0.7-0.8（大文字）		
ZH 1/618	0.5-0.7（大文字）		行間隔：1 画素以上あるいは字高の 10%以上、文字間隔：1 画素以上あるいは字幅の 10%以上
DIN	0.5-0.7、アセンダは 0.1，ディセンダ 0.2		1 画素あるいは字高の 10%以上
CCITT			文字間および行間は読みやすく、確実に間隔が識別できること
ECMA	0.5-0.8		文字・行間隔は 1 画素以上
ANSI	0.7-0.9	文字高の 8.3%以上	行間隔：2 ストローク幅または文字高の 15%以上、文字間隔：文字高の 10%以上、単語間：1 文字以上
JIS Z 8513	0.7-0.9（英数字）が望ましい、0.5-1.0 以内、0.8-1.2（カナ漢字）	文字高の 8.3-16.7%（英数字）、ポジ表示で太め、ネガ表示で細めが好まれる	行間隔：1 画素以上、文字間隔：1 画素（又は 1 ストローク幅）以上、単語間：1 文字以上
ATIS	0.6-1.0	文字高の 12.5-16.7%	文字間隔：文字高の 10-25%
Lighthouse		ボールド化は読みやすくする	行間隔：文字サイズの 25-30%以上、文字間隔より広く、文字間隔：広く一定
OSHA			

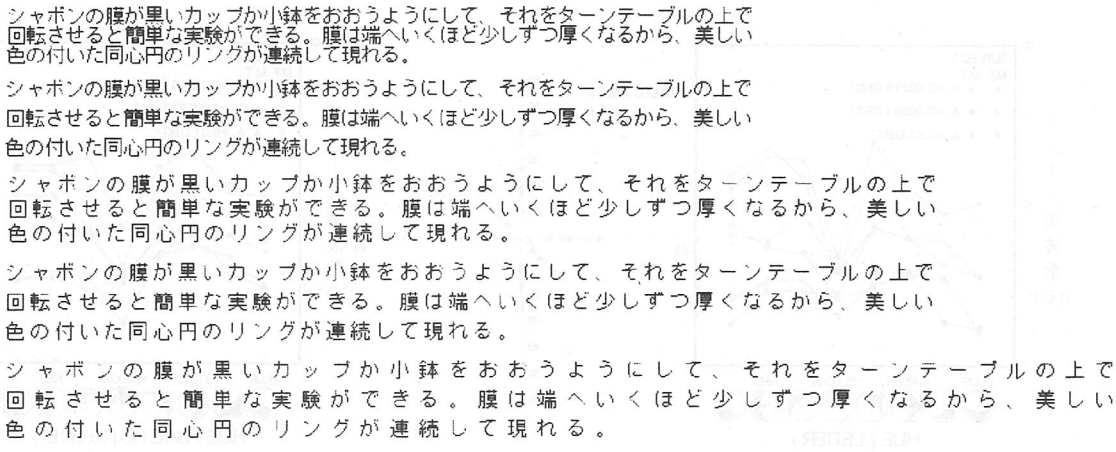


図 4-4 文字間隔と行間隔が異なる文章のサンプル画像
上から文字間隔／行間隔が文字サイズの、0/0, 0/50, 25/25, 25/50, 50/50%

図 4-3 右図[9]は、文字間隔を文字幅の 0, 25, 50, 100%とし中央文字の可読性（読み取りに必要な最低視力）を測定したものである。文字間隔が文字幅の 0, 25%の時、可読性は明らかに低下しており、文字幅の 50%以上の間隔が必要であることを示唆している。本結果は、１文字の読み取りであり、文章を読む場合に単純に適用できない。しかし、近接する他のパタンが文字の可読性に影響を与えることを明確に示しており、文字間隔よりむしろ行間隔に当てはまるかもしれない。前出の図 4-1 に示した可読性に対する近接パタンの強さ（コントラスト）の効果も、表示枠の効果だけでなく、行間隔の重要性を示唆している。文字間隔が可読性に与える効果、及び、それより明らかに大きな行間隔の効果は、図 4-4 に示したサンプルを見ても確認できる。文字間隔、行間隔ともに、小さい場合、cowding effect と呼ばれる一種のマスキングが起こる。行間隔の場合、さらに、眼球運動の行かえ目標の探索が困難になる。表 4-3 に示した規格中には、「１画素以上」という規定があるが、視覚特性の観点から見て、現在のディスプレイ解像度の高細化を持ち出すまでもなく、特に行間隔について、適正とは思われない。

4.1.4. 表示色

色は、誘目性（視覚探索）や分節化、危険・安全・正常・異常など曖昧だが直感的な意味の伝達、審美性において、その有効性が指摘されている。しかし、色覚の時空間分解能は、輝度コントラストに対する視覚特性に較べ低く、可読性に大きく貢献することは期待できない。また、カラー・ディスプレイの色は基本的に加法混色であり色を付けることは輝度を下げることになりやすく、並置混色のため色ズレも起こりやすい。色対比や色順応の影響もあるし、色覚異常の存在は無視すべきではない。従って、色の使用には、その有効性を利用する前提として、読みやすさを損なわない工夫をすべきである（3.2.1.3 節参照）。

表 4-4 に示した規格においても、同様の意図が伺われる。「スペクトルの両端の色」、即ち、「極端な青や赤を避ける」ことは、輝度コントラストが確保できないからであり、「帯域の広い色を使用する」のは、輝度コントラストを

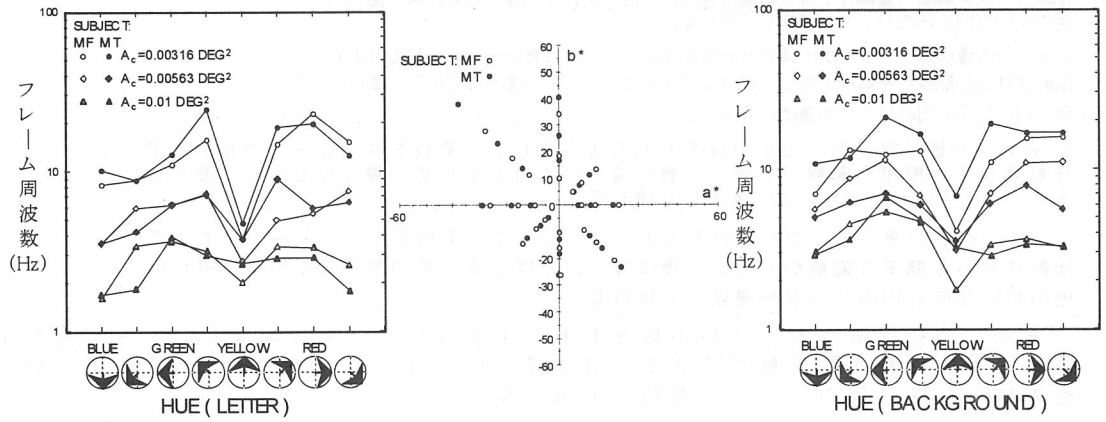


図 4-5 無彩色背景上の色文字(左)、色背景上の無彩色文字の可読性(右)

Ac は色検出の臨海面積、値が大きいほど彩度が低い。可読性は、フレーム周波数の高低で示した。使用した色を L*a*b*上に示した(中央)。

確保するためである。

色覚異常に対する配慮が明示されているのは、ANSI のみである。色覚異常の混同色線[10]から、反対色の組み合わせを避けるべきであることがわかる。正常者にあっても、薄暮時や周辺視での色覚、加齢効果を考慮し、輝度コントラストをまず第1に確保し、輝度コントラストのない色弁別を強いるべきではない。

図 4-5 に、無彩色背景上の色文字（数字）及び色背景上の無彩色文字の可読性を輝度ノイズ下で測定した結果を示す[11]。可読性は、フレーム周波数として測定され、フレーム周波数が高いほど短い時間に読み取ることができること、即ち、可読性が高いと云える。結果は、文字と背景との色差が大きいほど可読性は高く、色相では、青と黄の可読性が低いことを示している。規格中に、「暗い背景上での青」については言及されているが、同様に「明るい背景上の黄色」も避けるべきであろう。

JIS Z 8513 にある「同時呈示色 11 色以下、視覚探索を要求する場合やカラー・コードとして 6 色以下」の記述は、重要である。色を効果的に使用し、可読性を損なわず、誘目性やわかりやすさのために利用するには、色数は少なく、面積は広く使うべきであろう。

表 4-4 表示色

労働省	読みやすさを考慮したもの
電子協	可視域両端領域の配色は避ける（ネガ表示）、白色系（ポジ表示）
VDT 分科会	青・赤は避ける（単色表示）、白色系（ポジ表示）
JIS X 6041	可視域両端領域は避ける（単色表示）
産衛学会	可視スペクトルの端にある色は避け、発光スペクトル帯域の広いものが望ましい
マスコミ文化	スペクトル幅ができるだけ広いこと
VDT	個人の好み
ZH 1/618	黄、橙、緑、白、灰色、黒以外は使用しないのが良い。赤、青は避けるべき
DIN	緑から青まで
CCITT	赤、青は避ける
ECMA	
ANSI	暗い背景での青や赤（650 nm 以上）は避ける 色覚異常者の色弁別のため、赤（650 nm 以上）は避け、赤と緑に異なる割合で青を混ぜる モノクロの場合、60-100 cd/m² の輝度ではその 33%と 100%、100 cd/m²以上ではその 20%,40%,100%の階調を使う、隣接領域では 7%以上、その他は 20%以上輝度差を設ける
JIS Z 8513	暗い背景上で青（v'<0.2）は使用しない。暗い背景上で赤（u'>0.4）は避け、青（v'<0.2）背景上では使用しない。（ネガ表示） 極端な青（v'<0.2）は極端な赤（u'>0.4）背景上で使用しない。（ポジ表示） 視角 2 度未満で極端な青（v'<0.2）は使用しない。弁別に必要な色差は ΔE^*_{uv}>20。 同時呈示色は 11 色以下。視覚探索が必要な場合、または、カラーコードとしては、6 色以下。
ATIS	高彩度の青は避ける
Lighthouse	白黒の組合せ
OSHA	

4.1.5. 結び

本節に挙げた規格は、表示の利用者よりも、表示のデザインや表示装置の製造者が利用するものである。本節では、あえて表示の利用者の立場、視認性の観点から検討した。幾つかの問題点は指摘したが、視覚特性の観点から見た理想的な表示の姿は、漠然としたままである。表示の見やすさは、視力や視力と

相関のあるサイズ等の変数を使った可読閾の測定や官能評価、VL による定量化、グレアや誘目性の定量評価など多方面から研究されている。そして、近年、高齢者研究やユニバーサル・デザインの研究が話題となることも多い。しかし、それに反して感じさせられたのは、実験室の中での視覚特性の研究と比較して、日常生活の中での視覚特性に関して、我々はさほど多くのデータを持ってはいないことである。日常において、我々の視覚系は、周囲の環境や見る対象の性質に従って、絶えずその特性を変化させ視覚情報の収集を行っている。どうすれば認知付加を最小化し、情報収集を最適化できるのか、日常における視覚を取り上げる研究が今後増えることを期待したい。

表 4-5 表示画面位置・視距離

	表示画面位置	視距離
労働省	画面の上端が目の位置より下	40 cm 以上
電子協	画面最上行が作業者の目の高さ以下、かつ、画面最下行における管面の法線と作業者の視線のなす角度が 40° 以下が望ましい	約 50 cm 近辺で 40-70 cm
VDT 分科会	画面最上行が作業者の目の高さ以下が望ましい	約 50 cm 近辺で 40-70 cm
JIS X 6041		
産衛学会	容易に調節可	
マスコミ文化		
VDT	画面の上端は目の高さ以下	最大 70 cm
ZH 1/618		50 cm
DIN	作業面より 370-520 mm 上に画面の上端がある	50-80 cm（キーボード、原稿使用時）
CCITT	目の位置より 10-20° 下に画面中央があること	55-69 cm が好まれる
ECMA		
ANSI	視線と管面の法線のなす角度が 40° 以下、目の位置より 0-60° 下に表示領域があること	30 cm 以上、35-40 cm が平均
JIS Z 8513	水平から下方 60° の範囲内に表示画面が収まる	40 cm 以上、タッチスクリーン等では 30 cm 以上
ATIS		
Lighthouse		
OSHA	画面の上端が目の位置より下	46-61 cm

参考文献

(1)畑田: "VDT と目の疲労", 大山・今井・和気(編)新編感覚・知覚心理学ハンドブック, 誠信書房(1994).

(2)舟川: "文字の可読性に関する実験的研究", 照学誌, 84, 785-792(2000).

(3)M. Ikeda and S. Saida: Span of recognition in reading, Vision Res., 18, 83-88(1978).

(4)J. Mandelbaum and L. L. Sloan: Peripheral visual acuity, Am. J. Ophthal., 30, 581-588(1947).

(5)G. E. Legge, D. G. Pelli, G. S. Rubin and M. M. Schleske:

Psychophysics of reading. I. Normal vision, Vision Res., 25, 239-252(1985).
(6)J. A. Solomon and D. G. Pelli: The visual filter mediating letter identification, Nature, 369, 395-397(1994).
(7)N. Osaka: Size of saccade and fixation duration of eye movements during Japanese test reading: Psychophysics of Japanese test processing, J. Opt. Soc. Am., A, 9, 5-13(1992).
(8)K. Oda and M. Imahashi: Critical character size for reading Japanese, Investigative Ophthalmology and Visual Science, 36, S671(1995).
(9)舟川：”可読性に影響を与える空間要因に関する実験研究”, 照学誌, 84, 793-798(2000).
(10) G. Wyszecki and W. S. Stiles : Color science: Concepts and methods, quantitative data and formulae, New York:John Wiley(1982).
(11)舟川：”色コントラストと可読性に関する実験研究”, 照学誌, 84799-808 (2000) .

（舟川　政美）

4.2. 表示に関する規格化の動向

ここでは、視認性の観点より最も深い関連性があるフラットパネルディスプレイの国際規格 ISO13406 について、その概要、審議過程、JIS 化動向および今後の予定について述べる。

ISO13406 は part1、part2 の２部構成となっており、それぞれタイトルは以下のとおりである。

1. ISO13406-1:1999 Ergonomic requirements for work with visual displays on flat panels. - Part1: Introduction.
2. ISO13406-2 Ergonomic requirements for work with visual displays on flat panels - Part2: Ergonomic requirements for flat panel displays.

この ISO13406 は、もともと ISO9241 シリーズの ISO9241－３、７、８のフラットパネルディスプレイ専用規格としてスタートし、フラットパネルディスプレイ（主に液晶ディスプレイ）の特性を考慮した測定方法、要求事項を集約した内容となっている。ISO13406 がフラットパネルディスプレイの特性として特に注目した点は、１）CRT ディスプレイに比べて光学的異方性（見る角度によって、輝度、コントラスト、色度が異なる）が著しい、２）表示速度が遅い、３）画素欠陥が存在する可能性があることなどである。ISO13406 では、これらに対する要求事項および測定方法が追加されている。Part1 は、1999 年 10 月に発行され、ISO13406 が、ISO9241 シリーズから独立する理由とフラットパネルディスプレイの定義について述べている。Part2 が規格の本体となり、要求事項、測定方法などを規定している。要求項目には、表示文字の高さ、線幅、アスペクト比や文字間隔、表示輝度、コントラスト、反射、フリッカといったディスプレイに表示された文字の視認性に関わる内容とともに、画素欠陥や応答速度といったフラットパネルディスプレイに特有の内容があり、全体で 29 項目となっている。測定方法として特徴的なことは、光学的な異方性を考慮し、ディスプレイ面の鉛直方向に対して傾いた方向より測定する点や、いわゆる暗室状態と呼ばれる状態での測定ばかりではなく、環境光が存在する状態での測定が含まれる点である。このため測定方法がかなり複雑となるのが問題点である。

ISO13406 の制定作業は、国際標準化機構（ISO）の TC159 Ergonomics、SC4 Ergonomics of human-system interaction 内で行われた。国内では、日本人間工学会内に TC159 国内対策委員会（JENC）が設置され、SC4 分科会にて審議された。分科会のメンバーは産業会と大学関係者によって構成され、中野義彦氏（沖電気工業（株））を主査に人間工学的な要求事項や測定方法の検討を活発に行った。その結果、視認性を確保するための条件としてディスプレイの背景輝度とコントラストの関係が規格に追加された。また、アルファベットのほかに漢字表示に対する要求事項の必要性を訴え、アジア文字に関する規定が追加された。測定方法についても、同じサンプルを様々な測定機関で持ちまわって測定する Round-robin Test に積極的に参加し、測定方法の規定や測定手順の簡素化に貢献した。一方で、TC159 国内対策委員会内に人間工学 JIS 原案作成委員会が設置され、ISO13406 の JIS 化が行われている。ISO13406-1 について

はJIS8528-1としてJIS化されており、ISO13406-2についても現在JIS化が進行している。

ISO13406がISO9241シリーズを液晶ディスプレイを中心とするフラットパネルディスプレイ用に拡張してきた経緯については既に述べたとおりである。今後は、さらにISO9241シリーズ（ISO9241－３、７、８）とISO13406を統合、再構成することが1999年9月に新作業項目として決まった。これを受けて現在WD（Working Draft）、ISO/WD 18789 Ergonomics of human system interaction - Ergonomic requirements and measurement techniques for electronic visual display. として作成作業が行われている。このISO18789のねらいは、規格によってカバーするディスプレイの種類、想定される使用条件や環境を拡大し、多くの電子ディスプレイ、使用条件、環境に対して視覚面を特に配慮した人間工学設計ができるようにすることである。

以上のように電子ディスプレイの人間工学的な国際規格として、ISO9241、ISO13406と制定され、さらにISO18789の作成へと進んでいる。新しい技術を基盤とした電子ディスプレイの出現によって、ディスプレイが持つ表示特性が以前とは異なってきている。また、ディスプレイの使用目的、使用環境の多様化も進んでいる。規格の制定に際しては多くの実験に基づいた基礎的データの積み上げと整理が必要であり、この分野の研究と活動に期待するところは大きい。

（田村　徹）

4.3. 作業環境としての照明と視認性

VDT 作業は、従来の紙面を対象とした作業と比較して、以下の 3 点で大きく異なっている。

①視線方向が水平方向である：紙面を対象とした作業では、視対象面は机上面と一致することが多く、作業時の視線が斜め下方向であるのに対し、VDT 作業時の視対象面は机上面より高い位置にあると同時に鉛直面であるため、作業時の視線が水平方向に近い状態になる。

②表面で光が正反射する：視対象が紙面の場合、視対象表面で光が拡散反射することが多いのに対し、視対象が VDT 表面の場合、視対象表面で光が正反射することが多い。

③視対象が単一ではない：紙面を対象とした作業では、視対象がその紙面のみであるのに対し、VDT 作業時は VDT 画面だけでなく、キーボードや紙面などの VDT 画面以外の物も視対象となることがある。

したがって、VDT 作業を行なう場の照明を計画する際には、これらの点を考慮に入れる必要がある。ここでは、これらのそれぞれの観点で、照明を計画する際のポイントをまとめた。

4.3.1. 天井面の照明器具による不快グレア

VDT 作業時は、視線が水平方向に近くなることから、天井面の照明器具が視野に入りやすくなり、紙面が視対象である場合と比較して、照明器具がグレア源となる可能性が高い。そこで、紙面が視対象で視線が斜め下方向の場合と、VDT が視対象で視線が水平方向の場合とで、天井面の照明器具による不快グレアの違いを、UGR(UnIfIed Glare Rating：CIE が提示した屋内照明の不快グレア評価方法[1])を用いて検討した。

図 4-6 に示すような部屋での、VDT 作業と紙面を対象とした作業の 2 種類の作業状態を想定し、A, B, C のそれぞれの位置での UGR の値を、視線方向が水平方向である場合と、斜め下 45° の方向である場合の 2 種類の視線方向について計算した。なお、部屋のサイズは 6.4m×12.8m、床面から天井面の高さは 2.5m、床面からの目の高さは 1.2m、背景輝度は 80cd/m^2、照明器具の発光部の輝度は 5000cd/m^2、発光部の面積は 0.3m^2 とした。

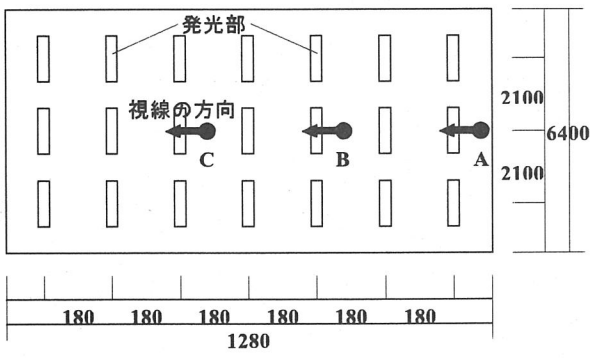


図 4-6. 計算に用いた部屋

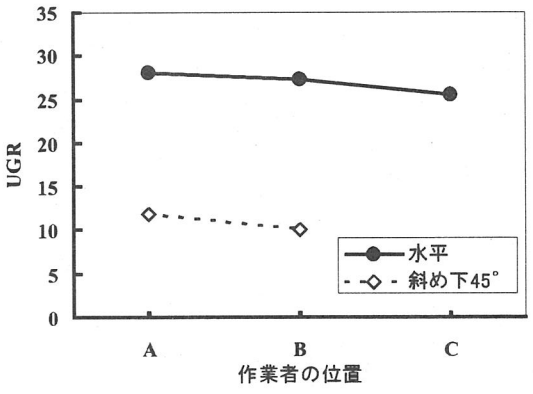


図 4-7. UGR 計算結果

計算の結果、図 4-7 に示すように、視線方向が水平方向の場合、斜め下 45°の場合と比較して、UGR の値が大きいことがわかった。このことから、VDT 面を視対象とした作業を行う場合、紙面を対象とした作業を行う場合より、天井面の照明器具による不快グレアが強いことが明らかになった。したがって、VDT 作業を行う場の照明を計画する際には、天井面に設置する照明器具がグレア源とならないように配慮する必要がある。

4.3.2. VDT 画面に生じる反射像

VDT 画面では一般の紙面と比較して、光が正反射する割合が高いことから、VDT 画面には照明器具や、窓面の反射像が生じる可能性が高い。VDT 画面に反射像が生じた場合、表示された文字や画像の見かけの輝度対比が小さくなることによって、その視認性が低くなると考えられる。反射像が重畳した視対象の見え方に関しては、過去に詳細に研究されているので、ここではその内容を紹介する。

金ら [2)~4)] は、一様な反射像が重畳した場合、反射像と視対象の視距離が種々異なる場合、反射像の大きさが種々異なる場合、反射像の形が種々異なる場合について、反射像が重畳した文章視標の見え方を検討した。

4.3.2.1. 一様な反射像が重畳した視対象の見え方

金ら [2)] は、一様な反射像が重畳した場合の文章視標の読みやすさを、被験者を用いた主観評価実験を行うことによって明らかにした。

実験では、図 4-8 に示すような装置を用いて、図 4-9 に示す、活字寸法が 5.4mm の平易な日本語文視標に輝度が一様な反射像を重畳させた。

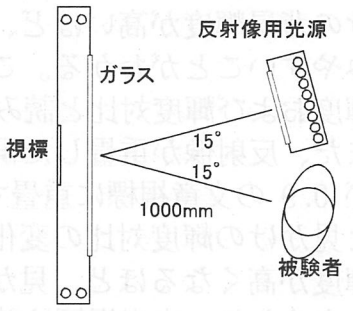


図 4-8. 実験装置

表 4-6. 提示条件

見かけの輝度対比*1	提示条件	見かけの背景輝度[cd/m²]							
		30	50	70	100	150	300	500	700
0.9	視標の反射率対比	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94		
	反射像用光源の輝度[cd/m²]	20	30	40	60	80	170		
	視標面照度[lx]	110	190	260	370	560	1100		
0.7	視標の反射率対比	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	
	反射像用光源の輝度[cd/m²]	100	170	230	330	500	1000	1700	
	視標面照度[lx]	90	140	200	290	430	870	1500	
0.4	視標の反射率対比	0.55	0.55	0.55	0.55	0.94	0.94	0.94	0.94
	反射像用光源の輝度[cd/m²]	110	180	250	350	1100	2200	3700	5200
	視標面照度[lx]	90	140	200	280	250	500	830	1200
0.2	視標の反射率対比	0.26	0.26	0.26	0.26	0.40	0.40	0.40	0.40
	反射像用光源の輝度[cd/m²]	90	150	210	300	970	2000	3300	4500
	視標面照度[lx]	90	150	210	300	290	580	970	1400
0.1	視標の反射率対比	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.26	0.26
	反射像用光源の輝度[cd/m²]	90	150	210	300	450	900	4000	5600
	視標面照度[lx]	90	150	210	300	450	890	750	1050
0.05	視標の反射率対比						0.13	0.13	0.13
	反射像用光源の輝度[cd/m²]						2400	4000	5600
	視標面照度[lx]						450	750	1050

*1 輝度対比 $C=\Delta L / L_b$

表 4-7.評価尺度

評価段階	評価内容
A	非常に読みやすい
B	読みやすい
C	苦労せずに読める
D	多少読みにくいが読める
E	やっと読める
F	読めない

現代技術の粋を誇るジェット機も、決して例外ではない。小さな小さなカビにとりつかれたら、いのちを落とすことがある。
「原因不明の墜落事故がときどきありますね。あのなかには、カビにやられて落ちたのが、案外、あると思うんです」と、井上微生物災害研究所（東京・練馬）の井上真由美所長はいう。
「各国の空軍は、軍事機密だといっては隠していますが、戦闘機

図 4-9. 視標

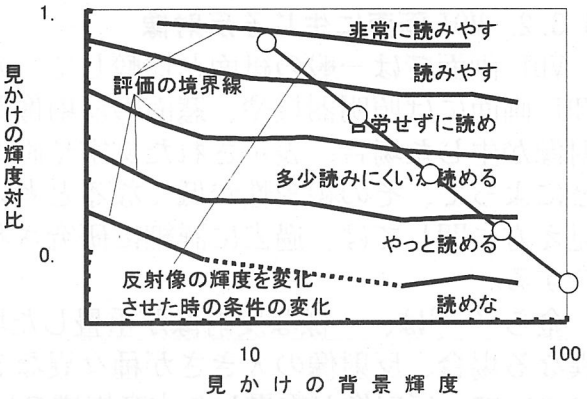


図 4-10 評価結果

提示した視標を図 4-9 に、視標に重畳させた反射像の条件を表 4-6 に示す。このような反射像が重畳した文章視標の読みやすさを、表 4-7 に示す評価尺度に基づいて被験者に評価させた。

評価結果を見かけの背景輝度と見かけの輝度対比に関連させて、図 4-10 に示す。この図から、見かけの背景輝度が高いほど、また、見かけの輝度対比が大きいほど文章視標は読みやすいことがわかる。この関係は、反射像が重畳していない文章視標の背景輝度および輝度対比と読みやすさとの関係と同様である。

また、反射像が重畳した視対象の一例として、背景輝度が 100cd/m^2、輝度対比が 0.9 の文章視標に重畳する反射像の輝度を変えたときの、見かけの背景輝度と見かけの輝度対比の変化をこの図中に示す。この図から、重畳する反射像の輝度が高くなるほど、見かけの背景輝度が高くなる一方で見かけの輝度対比が小さくなり、文章視標は読みにくくなることがわかる。

以上の研究から、視対象に反射像が重畳することにより、見かけの輝度対比が小さくなり視対象は見にくくなるといえる。したがって、VDT 作業を行なう空間の照明を計画する際には、VDT 画面に生じる照明器具や窓面の反射像の輝度を低く抑える必要がある。

4.3.2.2. 視対象と反射像との視距離の差が文章視標の見え方に及ぼす影響

Mukai ら [3]は、被験者を用いた主観評価実験を行ない、視対象と反射像の間に視距離の差がある場合の文章視標の見え方を検討した。

その結果、視対象に反射像が重畳する場合、それらの視距離の差が小さいと視対象が見にくくなることを明らかにした。この結果に基づくと、VDT に対する視距離が数 10cm と近距離であることから、特に VDT から近距離にある照明器具や窓面が反射像として VDT 画面に重畳しないように注意する必要がある。

4.3.2.3. 反射像の大きさが文章視標の見え方に及ぼす影響

Mukai ら [3]は、被験者を用いた主観評価実験を行い、反射像の大きさが種々異なる場合の文章視標の見え方を検討した。

その結果、視対象の一部に反射像が重畳すると、視対象全体に反射像が重畳する場合よりも視対象は見にくくなり、その大きさが小さくても見にくさの程度は小さくならないことを明らかにした。この結果に基づくと、VDT 画面の一部に反射像が重畳する場合、その大きさが小さくても見やすさが大きく低下することに注意する必要がある。

4.3.2.4. 反射像の数が文章視標の見え方に及ぼす影響

向ら[4]は、被験者を用いた主観評価実験を行い、反射像の数が種々異なる場合の文章視標の見え方を検討した。

その結果、視対象に重畳する反射像の数が多いほど、視標が見にくくなることを明らかにした。この結果に基づくと、VDT 画面に重畳する反射像の数ができる限り少なくなるよう、照明器具などの光源の数に注意する必要がある。

4.3.3. VDT 作業時の水平面照度

VDT 作業を行う際の主となる視対象は VDT 画面であるが、VDT 画面を見ると同時に机上の資料やキーボードも視対象となることが少なくない。したがって、VDT 作業を行なう場の照明を計画する際には、鉛直面照度だけではなく、机上の水平面照度に関しても考慮する必要がある。

VDT 作業時の鉛直面照度、水平面照度に関しては、様々な規格や推奨、勧告がある。表 4-8 に、舟川[5]がまとめたこれらの規格、推奨、勧告を紹介する。

表 4-8. VDT 作業時の照度に関する規程

	名　　称	照　度　規　格		
ANSI	American National Standard for Human Factors Engineering of Visual Display Terminal Workstations. The Human Factors Society, American National Standard Institute, ANSI/HFS 100(1988)		200-500 lx	
DIN	Deutsche Industrie Norn Standard 66234	ネガ表示 ポジ表示	300-500 lx 500 lx	以上
ECMA	Europian Computer Manufactures Assosiation TR-22		300-500 lx	
JIS	JIS Z 8513(ISO 9241-3) 人間工学—視覚表示装置を用いるオフィス作業—視覚表示装置の要求事項(1992)		250-500 lx (想定照度)	
OSHA	Working Safety with Video Display Terminals, U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, OSHA 3092(1997)	水平面照度 鉛直面照度	538-1076 lx 301-538 lx	
VDT	Cakir, Hart, & Stewart, The VDT Manual(1980)		300-500 lx	
産衛学会	日本産業衛生学会，VDT作業に関する検討委員会勧告(1985)		300-1500 lx	
電子協	日本電子工業振興協会，VDTガイドラインに関する調査研究報告書(1985)	水平面照度 鉛直面照度	300-700 lx 100-500 lx	
マスコミ文化	全国マスコミ文化共闘，VDT労働改善の提案(1984)	水平面照度	500-700 lx	
労働省	労働省労働基準局，VDT作業のための労働衛生上の指針(1985)	水平面照度 鉛直面照度	300-1000 lx 500 lx	以下

この表から、水平面照度に関する規程の多くは 300-500lx であることがわかる。VDT 作業を想定していない事務所の水平面照度に関する規程が、300-1500lx 程度であることを鑑みると、VDT 作業時の水平面照度は低く設定されているといえる。VDT 作業時は複数の視対象が存在し、それら複数の視対象の間で視線が移動することから、それぞれの視対象が見やすい照明条件と、順応輝

度の変化を小さく押さえる照明条件を両立させる必要がある。

参考文献

1) 照明学会：CIE グレア評価法 UGR の研究調査委員会報告書 JIER-060(1999)

2) 金　祐根，佐藤隆二，楢崎正也：一様な反射像に覆われた文章視標の読みやすさ，日本建築学会計画系論文報告集，No.431(1992)

3) Kenji Mukai, Wookun Kim, Ryuji Satoh：Effects of Size and Distance of Reflection on Readability and Reading Nuisance, CIE Proceedings 22nd Session Melbourne, Vol.1, Part1, pp.53-54 (1991)

4) 向　健二，佐藤隆二，楢崎正也：反射像が重畳した視対象の見え方の評価法，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学，pp.329-330(1992)

5) 舟川政美：VDT 作業環境での視認性に関わる規定と課題，照明学会研究会資料 VP-02-3, pp15-22(2002)

（向　健二）

4.4. LCD（液晶ディスプレイ）の高精細化と文字の読みやすさ

4.4.1. はじめに

LCD は低温ポリシリコン TFT 技術の進歩などにより高精細化が進み、現在では一般コンシューマ向けの商品でも 150ppi(pixel per inch)前後から 200ppi 程度の高精細 LCD が搭載された商品を良く見かけるようになった。一般的に画面が高精細化すれば、その分表現力が増し、より読みやすい文字が表示できるようになると思われる。しかし表示デバイスだけが高精細化しても、フォントやそれをコントロールする OS、アプリケーションが従来のままでは高精細 LCD の持っている表現力を充分に生かすことはできない。

4.4.2. 精細度と文字の読みやすさの関係

図 4-11 は LCD が高精細化した場合の一般的な文字の表示特性である。1 ドットの線幅で表現されるようなゴシックフォントの場合、同じサイズの文字を表示しようとすると、線幅が細くなる。また、同じ画素構成（1 文字を表現するためのドット数が同じ）の文字を表示する場合は、小さく表示される。

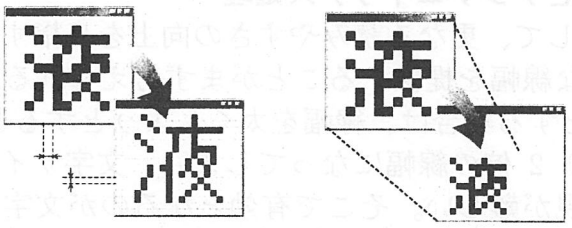


図 4-11　高精細 LCD の文字表示

図 4-12 は 86ppi の LCD と 133ppi の LCD に表示された 1 ドット線幅の文字の読みやすさを比較したデータである [1)]。横軸は視距離 400mm における視角、各点に付されている数字は画素構成を表している。グラフ上で縦に並んでいる文字はほぼ同じ大きさであり、同サイズの文字であれば高精細 LCD の方が全体的に線幅が細くても読みやすいという結果となっている。また、図 4-12 の LineA はほぼ同一の読みやすさを有している文字の比較を表している。この 2 つの文字の大きさを比べると、133ppi の方が 86ppi の 72%ほどの大きさしかない。この結果より、高精細 LCD はある範囲においては、文字が小さくなっても、従来と同等の読みやすさの文字を表示できることが示された。

しかし、視角 35 分を超えるあたりから、読みやすさに対する評価の逆転が現れる。これは 1 ドット線幅のままでは文字の大きさに対して、線幅が細すぎるために読みにくい文字として評価されたことが原因と思われる。図 4-13 に文字線幅の適切さに対する評価結果を示す [1)]。133ppi の LCD に表示された文字は「読みやすい」という評価を得ている一方で、線幅に対しては全体的に「細い」と言う評価になっており、大きな文字になるほどその傾向は強くなっている。視角の大きな文字については 86ppi の方が「ちょうど良い」という評価に近くなっている。この差が読みやすさに対する評価の逆転の最たる原因であろう。現在よく使われている日本語フォントは 100ppi 以下の表示デバイスを想定して作られたものであるため、LCD だけが高精細化をすると、このような不

適合が現れる。表示デバイスの精細度に合ったフォント開発と、それをコントロールする OS やアプリケーションの開発が伴って、初めて高精細 LCD の持つ文字表現力を最大限生かすことができると言える。

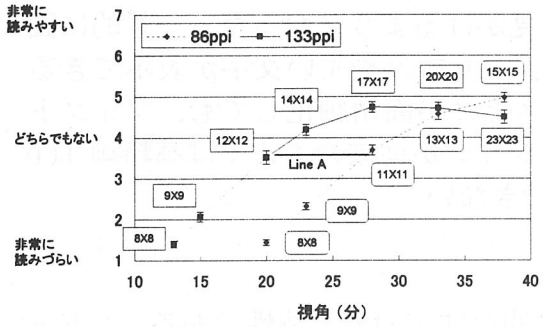


図 4-12　86ppi と 133ppi の LCD に表示された文字の読みやすさ

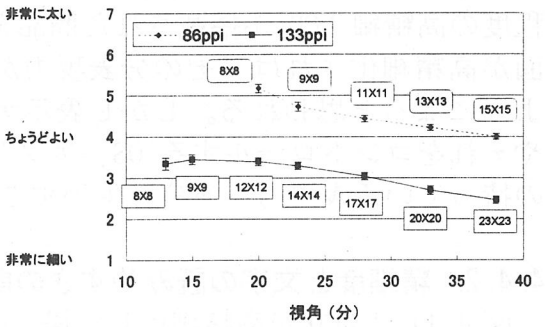


図 4-13　86ppi と 133ppi の LCD に表示された文字の線幅の適切さ

4.4.3. 高精細 LCD とアンチエイリアス処理

高精細 LCD に対して、更なる読みやすさの向上を目指すためには、文字の大きさに対して適切な線幅を提供することがまず考えられる。しかし、1 ドットを描画の最低単位とする場合は、線幅を太くしようとすると 1 ドットの次は 2 ドットと、いきなり 2 倍の線幅になってしまい、文字サイズに対する「ちょうど良い」線幅の表現が難しい。そこで有効となるのが文字のアンチエイリアス処理である。アンチエイリアスとは、白い背景に黒の文字を置いた時に、背景色の白と文字色の黒の間を適度なグレーのドットで補間するもので、これを施す事により、画面上では滑らかな斜線・カーブを持った文字が表現でき、見た目に（感覚的に）適度な線幅を表現することも可能になる。しかしアンチエイリアスも、ある程度の精細度がデバイス側に無いと、その利点を充分に生かすことができない。図 4-14 は従来解像度の 9×9 画素構成の文字と、精細度を倍にした 18×18 画素構成の文字（それぞれ大きさは同じ）にそれぞれアンチエイリアス処理を施した例である。左側の図はアンチエイリアス処理を効果的に表現するためのドット数が足りなく、文字がつぶれてしまっている。仮に精細度が 2 倍になれば、同じ大きさの文字を右の図のようにアンチエイリアスで表現でき、美しく、読みやすい文字を表示できる。

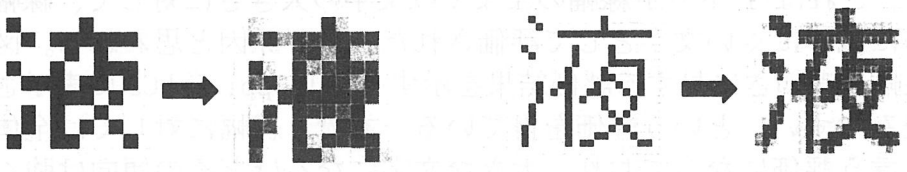


図 4-14　精細度とアンチエイリアス処理

しかし、OS レベルで文字をアンチエイリアス化させて表示させるためにはプ

ロセッサに大きな負荷をかけてしまうため、これまでは実現が難しかった。しかし近年ハードウェアの高速化により、スケーラブルフォントと呼ばれる、アウトラインデータで作られた文字をアンチエイリアス処理して表示させるフォントを OS レベルで制御できるようになり、さらにはカラーLCD の１ドットを構成する R, G, B, のサブピクセルを独立に制御する技術も一般的になってきた。図 4-15 はサブピクセル制御まで行ったスケーラブルフォントのアンチエイリアス処理の一例である。ただし先に記したようにこれらの文字を適切に表示するためには高精細の表示デバイスが必要である。精細度の低い LCD にスケーラブルフォントを表示させると、充分な表現力がないため、文字がつぶれてしまったり、エッジに色にじみが起こってしまったりする。逆の考え方をすれば、高精細 LCD の能力を生かすことができるフォントのひとつがスケーラブルフォントであると言える。

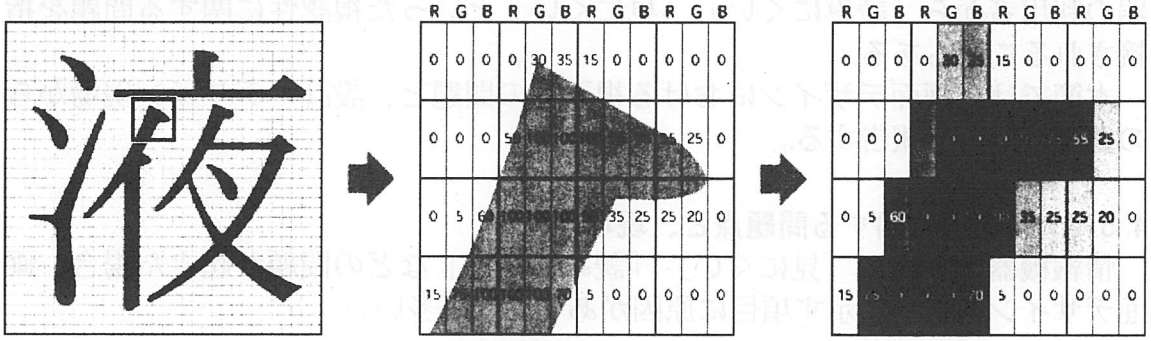


図 4-15　サブピクセル制御まで行ったスケーラブルフォントのアンチエイリアス処理の一例

4.4.4. おわりに

LCD に表示された文字の読みやすさを決定する要因はこの他にも画面輝度、コントラスト、環境照度、視野角などさまざまである。アンチエイリアス処理された文字も白黒２値のフォントと比べればコントラストが弱くなったり、エッジがぼやけて見えると言う側面もある。一口に高精細 LCD と言っても精細度が異なれば、文字の読みやすさに関してまた違ったデータ傾向が現れる可能性もある。今後、LCD の精細度と文字の読みやすさに関して、多様な条件下でさまざまな精細度の LCD の評価を行い、データの汎用性と信頼性を高める必要がある。

参考文献

1) K. IDO et al : "Ergonomic Evaluation of the Readability of High-Resolution TFT-LCDs", Asia Display/IDW'01 pp.1625-1628 (2001)

（井戸　健二）

4.5. 画面デザインと視認性

4.5.1. はじめに

オフィスや家庭など様々な場所で、コンピュータの画面を見たり操作する機会が増えている。パソコン以外の情報機器を使う場合もある。携帯電話の小さな画面で情報を見たり入力したりするのは、既に日常的な行動となっている。最近では、冷蔵庫や電子レンジについている、液晶の小さなパネルで情報を見ることも可能である。

このようなパソコンをはじめとした情報機器の画面やパネルに表示したい情報を、見やすく・読みやすく、作業を行いやすいようにデザイン・設計するのが、「画面デザイン」という仕事である。機器やソフトウェアの開発者や情報の提供者が画面デザインを行うが、実際の現場で、見やすさ・読みやすさなど視認性に関してどのようにデザイン・設計すべきか迷うことも多い。また、機器の利用者から「読みにくい」「見にくい」といった視認性に関する問題を指摘されることもある。

本節では、画面デザインにおける視認性の問題と、設計・デザイン現場からの要求について報告する。

4.5.2. 視認性に関する問題点と、現場の要求

情報機器の画面に「見にくい」「読みにくい」などの問題が起きた場合、画面デザインの以下に示す項目に原因があることが多い。

<u>文字が読みにくい原因</u>

(1) 文字サイズ（文字高）
適切な文字サイズでない（小さすぎる、大きすぎる）ため、読みにくい。

(2) 文字と背景のコントラスト
文字の色と背景色のコントラストが弱いため、読みにくい。
背景に模様があり、文字と背景のコントラストが弱く読みにくい。

(3) 書体
書体が細いので、読みにくい。

(4) 行間
行間が詰まっていて、読みにくい。

(5) 文字とオブジェクトの位置関係
罫線と文字の距離など、文字と別のオブジェクトの位置が近接しすぎる場合、読みにくい。

<u>文字以外のオブジェクトが見にくい原因</u>

(1) サイズ
○や×など、形に意味があるようなオブジェクトのサイズが小さすぎて、見にくい。

(2) オブジェクトと背景のコントラスト

オブジェクトの色と背景色のコントラストが弱く、オブジェクトが見にくい。

(3) オブジェクト同士の位置関係

オブジェクトとそれを囲む罫線などの位置や、オブジェクト同士の位置が近接しすぎる場合、見にくい。

上記のような状況が起きる原因は、エンジニアやデザイナに視認性について配慮が足りないという場合もある。しかし、現在、現場でエンジニアやデザイナが活用できる視認性に関する規格や判断基準が無いのも大きな要因である。

コンピュータなどのディスプレイに表示するための、JIS 規格として JIS Z 8513（視覚表示装置を用いる場合のオフィス作業―視覚表示装置の要求事項）がある。この規格では、実際の画面デザインへの適用は難しい。

例えば、JIS Z 8513 では、漢字の文字高として視角 25 分を推奨している。しかし、実際の画面デザインでは情報の一覧性、わかりやすさ、作業のしやすさなどを勘案し、漢字を視角 25 分以下のサイズでデザインする場合も多いが、十分に見やすさ・読みやすさを確保するよう工夫している。設計者やデザイナは、どこまで文字サイズを小さくしてよいのか、どのサイズなら視認性が保証されるのか、などを知りたい。

また、現場で、文字色と背景色、オブジェクト色と背景色のコントラストが良いかどうかの判断も客観的に、簡単に行いたい。JIS Z 8513 では、輝度コントラストの基準を設定しているが、このコントラスト値を計測しようとすると、輝度計や色度計、暗室などが必要である。これは、現場の設計者やデザイナが簡単に実施できることではない。

このように、現場では、簡単に使えて、わかりやすい、視認性を判断する基準を望んでいる。

4.5.3. 幅広い利用者層への配慮

近年では、パソコンの普及により利用者層も広がり、子供や高齢者、視覚障害者などもパソコンを利用するようになった。画面デザインを行う上では、こういった利用者層への視認性も配慮する必要がある。しかし、これらの利用者への視認性を判断する基準や規格もなく、現場はこれまでの成人・健常者に関する経験やユーザビリティ評価に頼らざる得ないのが現状である。

以上のように、視認性のよい画面デザインを行うためにも、現場で使える、かつ、幅広い利用者を想定した、視認性に関する判断基準や規格の提供が望まれている。

参考文献

1) JIS Z 8513 人間工学－視覚表示装置を用いるオフィス作業－視覚表示装置の要求事項 (1994).

（深谷　美登里）

4.6. VDT 作業環境に関する提言

本章では、VDT 表示に関する規格の概説、フラットパネルディスプレイの国際規格である ISO13406 の動向、照明やグレア及び反射像の視認性に与える影響、高精細液晶ディスプレイ上の文字表示に関する諸問題、画面デザインの現場における諸問題、等について特に視覚特性の観点から検討し報告した。VDT 作業とほとんど変わらない状況が、日常生活においてありふれたものとなっており、従って、ここでの議論は、VDT 作業だけに関わるものではない。

我々を取り巻く様々な工業製品の高機能化に伴う情報ディスプレイの増加とユーザの高齢化という２つの大きな流れから、必然的に情報ディスプレイによる認知負荷の最小化という目標に行き着く。認知負荷の最小化の実現は、例えば、ISO9241 には、キーボード以外の入力装置、対話形式、メニュー形式、コマンド形式、入力フォーム等に関する規定が含まれており、より高次の人間の認知・思考・理解のプロセスや操作性が当然関与するが、ここで取り上げたのは、より基礎的な視覚特性から見た表示特性の改善である。

本章において述べられた情報表示に関する大小の問題点を提言として、以下に列挙する。

- ユーザと情報表示ディスプレイを取り巻く環境の空間的な輝度分布の均一性が情報表示ディスプレイの視認性にとって重要である。
- ポジ表示とネガ表示は、視覚の初期過程や明暗順応の特性から見て、相互に異なる表示である。
- 規格値の意味を正しく理解し運用するため、規格値設定の理由を規格は説明すべきである。
- 色彩の使用に関して、色覚異常、加齢効果に配慮すべきである。
- 日常生活における視覚を支援するため、日常場面における視覚特性に関する研究の充実が必要である。
- 新しい技術を基盤とした電子ディスプレイの出現、情報表示ディスプレイの使用目的、使用環境の多様化に対応した基礎研究の充実が求められている。
- 照明器具はグレア源にならないよう VDT 画面に反射像を作らないよう配置や高さに配慮すべきである。
- VDT 作業における複数の視対象それぞれが見やすい照明条件と、順応輝度の変化を小さく押さえる照明条件を、両立させる必要がある。
- 情報表示ディスプレイの解像度に合わせたフォント、アンチエイリアス処理が必要である。
- 画面デザインの現場で利用できる、規格値の意味が理解しやすく応用しやすく結果が予測できる、子供や高齢者、視覚障害者にも配慮できる規格、基準が必要である。
- 画面デザインの現場で利用できる簡便な測光・測色法、視認性を測る簡便な尺度の開発が望まれている。

これらの事柄の中には、すぐに実現できるものから当分は無理かもしれないものまで、細かなことから大きなことまでが含まれている。その重要性に高低

を付ける必要性はないだろう。

規格の内容に関していえば、いわゆる業界寄りのユーザの観点を欠いた現状追認型の規格が最悪とすれば、最良の規格とはどんなものであろうか。本委員会では、視覚特性を基準として様々な規格の評価を試みたが、視覚特性の観点から見た理想の規格の姿は、なお漠然としている。我々の知識が、日常場面の複雑で多様、時々刻々変化する視覚環境におけるユーザの視覚特性を、十分に説明できないからである。日常場面における視覚特性に関する研究の充実を重ねて期待したい。

規格のあり方としては、守るべき法律のような権威ではなく、規格値の意味が理解できて結果を予測することを教える教科書のようなものが、望まれている（規格とはそもそも教科書的なものではないという意見もあるだろうが）。そして、正しい規格値よりも「値を動かすと見え方がどう変わるか」を示すような規格値と視覚特性との関係式が求められている。なにより、情報表示の設計・デザインの現場にある視覚特性を理解したいという要望に答えることが、大切である。

（舟川　政美）

第５章　道路交通環境における視認性

視対象が見やすいかどうかという問題が安全性に直結する場面の１つが道路交通環境である。ドライバーからの視点で考えたとき、主な視対象としては、他車両や標識、歩行者、ランドマーク、それにインパネ等の車載表示器ということになろう。これらの視認性を考える場合、個々の視対象の特性を考えることが必要であるだけでなく、夜間の照度低下を補うべき道路照明や自動車照明について、また複雑な運転タスクにともなう視野特性についても考える必要がある。そこで本章では、道路付帯設備、インパネなどの視認性や視野特性などについての基盤的研究の動向を紹介し、次に自動車照明の課題について述べた後、道路環境に対する提言を自動車照明と道路照明の２つの観点から行う。

5.1. 基盤的研究

5.1.1. 自動車運転時の有効視野

5.1.1.1. はじめに

ターゲット視標の検出や同定など何らかの視覚的タスクの遂行に関して、有効に機能する視野の範囲を有効視野という。有効視野のサイズや形状は、視覚的タスクや注意のかけ方および年齢によって変化することが知られている。

様々な条件下で必要な視覚情報を一定の精度で検知できる範囲即ち有効視野を測定することは、各種表示・操作機器や道路環境設計上で重要な課題である。

自動車運転者の有効視野測定の研究としては、Miura による実走行中の測定がある[1)]。フロントガラス上の種々の位置に張り付けた豆電球のいずれかを点滅させたものをターゲットとし、ターゲット呈示時の注視点とターゲットの距離すなわち周辺反応距離を、混雑度の異なる道路状況において測定した。その結果、周辺反応距離すなわち有効視野は、道路の混雑度の増大に伴い小さくなることが示された。

また車社会の米国では高齢者ドライバーの事故が問題となっており、その安全確保の観点から Ball らは高齢者ドライバーの有効視野研究に取り組んでいる[2)]。彼女等は、均一な静的視野内または妨害刺激（ノイズ）存在中の視野内に呈示された単一ターゲットの呈示方向を応答する手法で測定される視野範囲を総称して UFOV（Useful Field Of View.　UFOV は Visual Resources Inc. 社の登録商標である）と呼んでいる。UFOV の低下は、視力などの眼科的視機能の低下より交通事故発生と強い相関があるという。

我が国では、1999 年秋に道路交通法の一部が改正され、走行中の携帯電話等の使用を禁ずる規定が施行された。しかしその利便性から、実際には運転中に携帯電話を使用している人はいまだに多い。運転中の携帯電話使用がドライバーの生理学的特性、視覚機能、運転技能に与える影響については、これまで国内外で多くの研究が報告されている。携帯電話の使用は、各々の機能に種々の影響を及ぼしているが、どの研究もドライバーの運転に対する注意力低下を示唆しており、携帯電話使用の本質的な問題は、呼出し音や会話による認知的処

理能力への妨害といえよう。

ここでは、前方車両に追従して走行する状況を模擬した映像刺激を背景として用い、文字読み取りという視覚負荷、音声で与えられる質問への口答という会話負荷が、そのような動的背景上の有効視野にどのように影響するかを調べることを目的とした実験を紹介する。

5.1.1.2. 実験

住宅街の一般道を、約 40m 先を走行する前方車両に追従して、時速約 40ー60km で走行する自動車の助手席から撮影した 20 種類の映像を用いた。

ターゲット刺激は直径 0.5° の円形で、色は、道路標識用赤（7.5R4/13.5）を模擬した色(赤)と、それが褪色したことを想定した色(ピンク)の２種である。ターゲットの呈示時間は 0.25 秒である。ターゲット刺激は映像提示領域を 7 行 10 列のマスに分割した 70 領域各々の中心に提示した。

会話負荷は、ブース内のスピーカーからの音声で、簡単な質問を与え、それに口答させるという負荷である。例えば「朝食何食べた？」など、日常場面であれば 100%回答可能な質問を約 150 個用意した。口答する際、回答の真偽は問わないが、文脈的に整合する答えをするよう指示した。

視覚負荷は、映像中の固視点付近にアルファベット 2 文字を表示し、その文字を読み取るという負荷である。

ターゲット呈示とその位置同定タスクは、画面上を 7 行 10 列のマス目に分割した 70 箇所のターゲット呈示位置各々において少なくとも 10 試行ずつ行った。従って、全セッションを通じて、70 領域×10 試行×8 条件=5600 試行であり、これを 14 名の被験者で、提示位置や条件が均等になるように割り振られた 400 試行ずつを行った。

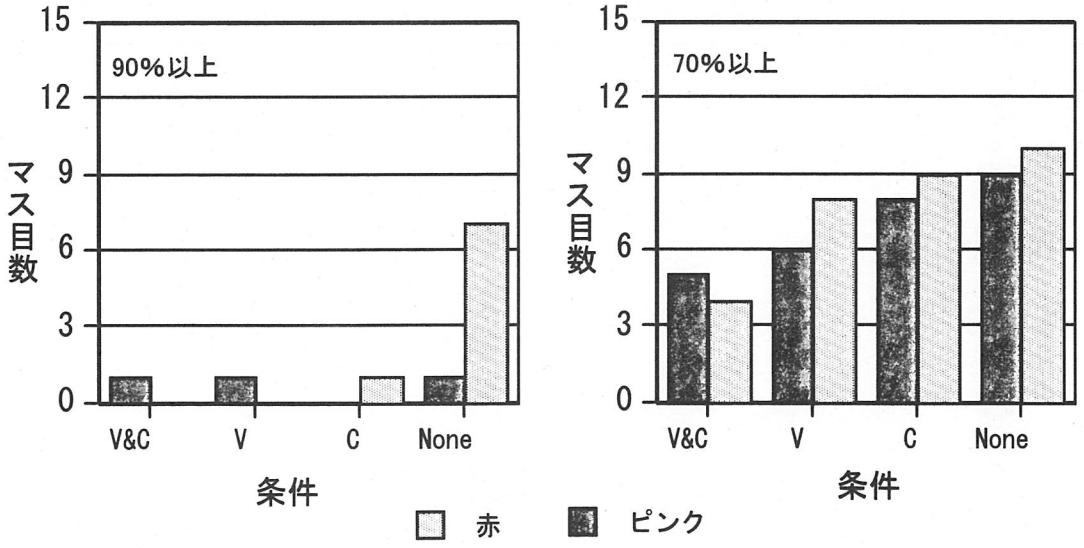


図 5-1. 正答率 90%、70%以上の領域（全条件）。V&C、V、C、None は、各々視覚及び会話負荷、視覚負荷、会話負荷、負荷なし条件を表す。

5.1.1.3. 結果

各ターゲット呈示位置において10試行分の応答距離すなわちターゲット呈示位置と被験者の応答位置の距離が測定結果として得られた。そこで本研究では便宜的に2.0°を正答の閾値とすることにした。

本実験における負荷条件は、２種のターゲット色各々に視覚負荷の有無、会話負荷の有無の組み合わせで、８条件である。条件1～8における正答率90%以上および70%以上の領域（マス目数）を比較した結果を図5-1に示す。正答率70%以上において、ターゲット色赤とピンクの条件で共に、負荷が増すにつれてマス目数が減少しているのが良くわかる。

（阿山みよし）

参考文献

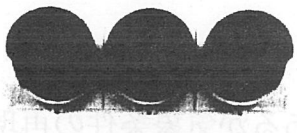
(1) 三浦：箱田裕司編：認知科学のフロンティアIII, pp.102-136, サイエンス社（1993).

(2) K. Ball and C. Owsley: J. Am. Opt. Assoc., 64-1, pp.71-79 (1993).

5.1.2. LED を光源とする標示灯の視認性の検討

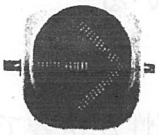
5.1.2.1. 設置の現状

自発光式の標識、表示類にＬＥＤを使用したものが多く見られるようになった。ＬＥＤは使用電力が少ないことから道路鋲や路側灯程度であれば太陽電池による点灯が可能である。加えて寿命が長く省スペースであることから、設置、メンテナンス上の利点が多い。さらに高輝度の青色、緑色ＬＥＤが登場したことで表示できる情報量が飛躍的に増加し、フルカラー表示も可能になった。すでに適用範囲は標識、信号灯、道路情報板、路側表示、工事用保安用品など多種に及んでいる。



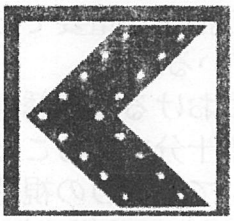
ＬＥＤ式信号機

㈱京三製作所 HP より



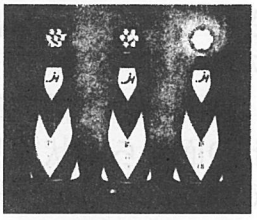
速度規制標識

名古屋電機㈱HP より



視線誘導灯

東邦ロード㈱HP より



工事用コーン

㈱丸琴 HP より

道路情報板

星和電機㈱HP より

図 5-2. ＬＥＤ製品の実用例

5.1.2.2. ＬＥＤによる視認性向上

自発光式の交通安全施設の視認性向上におけるねらいは目立ち（誘目性）と色による意味の認知（危険性や緊急性など）、判読性、視認距離などである。

ＬＥＤは高輝度、高色純度（高彩度）であるため、通常条件だけでなく悪天候でも高視認性が期待されている。また、色の選択肢が増えたことはこれまでの表示色（赤、黄緑、橙色）では見えにくかった色覚特性を持った人にとっても視認性上非常に期待が大きい。

5.1.2.3. 信号灯

信号灯における視認性の一番の問題点は太陽光が差し込んだときの疑似点灯現象である。ＬＥＤ式は色フィルタを使用していないため、このような現象はおこらない。また、点灯面が一様な輝度のため、面積が大きくはっきり見える。

赤色が見えにくいなどの色覚特性を持つ人による実験結果から、愛知県警は平成７年度以降、ＬＥＤ赤信号を見間違いのなかったピーク波長 630nm に設定している。このような色覚特性を持った人にとって青信号はＣＩＥ推奨規格の緑よりも従来日本で使用されてきた青に近い色の方が赤との区別がつきやすい場合が多い。３色ともに今後最適値を見いだすことが研究課題となっている。

5.1.2.4. 標識、道路情報板

昭和 60 年から 62 年に行われた官民共同研究によって電球式との視認距離の比較が行われ、ほぼ同等であることが確認された。表示の輝度コントラストが高いと視認距離が長くなるが、夜間は輝度が高すぎると文字や形を判別しにくくなり、適正輝度があることを示した。その後、高輝度の青色、緑色ＬＥＤが開発されて色の自由度が増えたことから、色の効果による視認性向上も検討されるようになった。安藤[4]によると表示の輝度差が同じでも色の組合せによって視認距離が異なる。最適な輝度と色の組合せの定量化が望まれている。また高輝度フルカラー化に伴い、渋滞や緊急情報の生映像を表示直接ドライバーへ見せるような情報伝達方法も考えられている。

5.1.2.5. 視線誘導灯、道路鋲など

誘導灯類は特に悪天候における視認性が重要であるが気象条件の再現は困難であり、研究例が少ないのが現状である。

霧環境については人工霧による研究が進められている。しかし霧の粒径などにより色の散乱に違いが予想されるため、自然霧物性の把握が重要である。雪環境は、再現が困難なため、フィールド実験で行われている。

実験結果から、昼間の濃霧、吹雪による低視程状態における視線誘導灯はかなりの光度を必要とし、コストの面から現状製品では不十分であることが示されている。一方、夜間においてはかなり低い視程においてＬＥＤの視認性が良いことが確認されている。このことから視認性の良い誘導灯の仕様は気象条件、周囲の明るさにおいて色や明るさが可変であることが不可欠である。

また今のところ高輝度タイプの各色、設置間隔、点灯サイクル（点滅点灯は省電力でありながら誘目性を向上させるため、ほとんどに採用されている）などの仕様が視認性に与える影響はほとんど明確にされていない。

5.1.2.6. 結語

ＬＥＤデバイスの開発は急激に進んでおり、視認性の研究によって仕様の最適値が定量化できれば、さらに優れた製品ができることが期待できる。

また、今後のＬＥＤの低価格化によって交通安全施設への適用は範囲、規模ともに広がっていくと考えられる。

（久保千穂）

参考文献

（１）　金子圏機：自動車技術，Vol.54，No.10，Ｐ48-53（2000）
（２）　彦坂正人ら：第 21 回感覚代行ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ発表論文集，Ｐ95-98（1995）
（３）　霜山民生：建設電気技術，No.77，ｐ22-28（1987）
（４）　安藤和彦：第 22 回日本道路会議論文集（1997）
（５）　満田喬ら：土木技術資料，Vol.27，No.12，ｐ38-44（1985）
（６）　萩原亨ら：土木計画学研究・論文集，No.5，ｐ849-855（1998）
（７）　斉藤博英ら：第 35 回北海道開発局技術研究発表会，ｐ79-84（1991）

5.1.3. 道路交通環境を念頭に置いた視認性研究

道路交通環境における視認性で、主に視対象となるのは、標識等の文字の視認性と車載物の表示の視認性である。そこでこの節では、これらをあつかった研究の例を紹介する。

5.1.3.1. 交通標識におけるマトリックス表示について

標識などに用いられるドットマトリックス表示の標識の場合、時にドットの配列が、さまざまな理由でいわゆる格子点からずれる可能性がある。ドットが格子点からずれても、可読性の観点からはある程度は許容できるが、審美的には良くない。そこで、Alferdinck[1]は、ドットマトリックス表示のドットの、格子状配置からの許容移動量（just noticeable deviation）を、種々の条件で調査している。

刺激は 1024×768pixel のディスプレイ上で作成し、被験者より 7.5m 前方に設置した 20×17cm のミラーに反射させて被験者に観察させている。被験者のタスクは、10×10 ドットの正方形状と縦 10 ドットの線状刺激で、２個１対が呈示された時に、どちらにずれているドットがあるかを 2AFC 法で回答するものであった。ドット間距離は視角で 2.75 分、1.38 分、0.688 分の３種、各々の場合においてドット間距離はドット直径の２倍に設定され、呈示時間１秒と５秒であった。白色ドットは輝度 140 cd/cm^2 で、背景はレベル 0（輝度比１：560）と灰色（輝度比 1:10）の２種が用いられ、色の影響も調べるために赤（5.65 cd/cm^2）、緑（23.9 cd/cm^2）、青（2.45 cd/cm^2）ドットでの実験も行っている。

被験者は 19～41 才の男性 4 名、女性 4 名で平均年齢は 24.9 才、視力は 0.5～2.0 の範囲に分布し、平均視力は 1.66 である。

その結果、以下の点を明らかにしている。

１．最大許容量（分）は、視距離（m）の 1.71 乗に比例し、平均ドット距離（mm）の 0.71 乗に反比例する式で近似できる。

２．線と正方形状、内側と外側、呈示時間１秒と５秒、ずれの方向での有意差はない。

３．青は、白、赤、緑に比べて２倍の jnd となった。

以上より、道路交通標識や案内板等の使用目的でドットマトリックスサインを作成する場合には、実験的測定に基づく上記の最大許容量を考慮すべきであるとしている。

5.1.3.2. 車載物注視時の先行車のブレーキ知覚への影響について

自動車運転は、車外の周囲特に前方の状況を確認しながら、時にインパネなど車内の表示物にも眼を向けるという、マルチタスク行動である。従って、これを安全にこなせるための要因として運転経験もあげられ、事実、傷害事故については、運転経験５～７年および走行距離 5,000km で飽和する学習曲線となることがいわれている[2]。また、中心窩で車内のタスクをこなし、周辺視に頼って路線の保持を行う際にも、運転経験が関連することが報告されている[3]。

しかし、Summala ら[4]は、先行車のブレーキランプ検出には、運転経験によら

ず車内タスクが弊害となる可能性があるとして、複数の運転経験レベルの被験者で、実際に路面走行中での先行車のブレーキの知覚応答時間に対する視線位置から異なる距離に設置されたディジタル表示の注視による影響を調べている。

被験者は３つの異なる位置（ダッシュボード上、速度計付近、コンソール中央付近）にあるいずれかのディジタルディスプレイを注視しながら先行車に追従し、先行車がブレーキを踏んだと知覚したら、同じくブレーキを踏むことが要求された。この時、先行車のブレーキランプは、点灯するか消灯のままかのいずれかに設定された。なお、被験者の中心窩タスクは、ランダムに 3Hz で提示される 4〜7 桁の数字を読み上げるというものである。

結果から、先行車のブレーキの検出は、後続車の運転者が速度計付近を観察中には十分に阻害され、コンソール中央付近を観察中には全く検出されないことが示された。また、運転経験は、過去に報告された路線維持への向上とは異なり、周辺視での前方接近の検出にはほとんど影響がないことも明らかになった。周辺視利用の車線維持と車間距離維持とでこのように能力が異なるため、経験の長い運転者にとっては、車線維持が可能だからという経験だけに基づいて、車載物を注視するなどの脇見を引き起こし、先行車に追突する可能性が十分にあることを指摘している。

（阿山みよし、氏家弘裕）

参考文献

1) J.W.A.M.Alferdinck: Design rules for matrix signs: The maximum allowable deviation from grid position. Proceedings of Vision in Vehicles VI, pp171-178 (1998).

2) L.Evans: Young driver involvement in severe car crashes. Alcohol, Drugs and Driving, 3, 63-78.

3) H.Summala, T.Nieminen and M.Punto: Maintaining lane position with peripheral vision during In-vehicle tasks. Human Factors, 38, 442-451.

4) H.Summala, D.Lamble and M.Laakso: Driving experience and perception of the lead car's braking when looking at in-car targets. Accident Analysis and Prevention, 30, 401-407.

5.1.4. 道路付帯設備の視認性評価について　—技術講演会報告—

平成12年10月12日に、照明学会の「視覚研究専門部会」、「視認性に関する研究調査委員会」、「道路照明のビジビリティレベルに関する研究調査委員会」の３会合同で各委員を対象に下記の技術講演会が開催された。

ここでは当日の配付資料に沿ってその講演内容の概略を紹介する。

＜演題＞　道路付帯設備(視線誘導設備)の視認性評価について

＜講演者＞萩原 亨 先生（北海道大学大学院工学研究科）

＜場所＞　松下電工(株)ナイスショールーム4F ナイススタジオ２

5.1.4.1. はじめに

導入部では、道路付帯設備の視認性は、運転者や歩行者の情報処理過程に深く関連しているという立場を明確に示した。運転者の情報処理過程は、道路空間における行動の動機と探索→発見（予期事象及び突発事象）→認識→必要なら再度の探索→短期記憶→運転動作、の順であることが示された。

5.1.4.2. 道路の視環境が運転者の視覚探索挙動に与える影響について

ここでは、アイカメラを用いて、様々な視環境における運転者の探索挙動を調査した研究が紹介された。調査対象となった視環境は、夜間における照明の効果、カーブ区間の視線誘導、直線路の視線誘導、街路における横断者の発見、の４種類である。

昼間の見通しの良い視環境では、中心視領域は、無限遠より１度下側にあり、最も効率良く道路空間全体から情報収集ができるからだと考えられている。夜間や霧で視界が悪い状況では、中心視領域が運転者の近くになる。オーバーハングの標識は探索エリア外である。夜間は明るい場所を探索する。照明光下の明るい領域に順応すると暗い物体を発見できない。夜間は特に眼の順応状態に対する配慮が重要である。

5.1.4.3. 運転時を考慮した視認性評価モデルに関する研究

「見える・見えない」の境界を下限輝度とし、「まぶしい・まぶしくない」の境界を上限輝度とし、ターゲットの大きさ、視距離、フィールドファクターを取り入れた視認性評価モデルが紹介された。

5.1.4.4. 霧及び吹雪時の視覚対象物コントラストのモデル化

霧中の背景と灯器の輝度が周囲の照度と透過率によりどのように変化するのかについて調べるための網羅的な条件下での野外測定実験が紹介され、照度・時刻・霧の濃度による背景輝度推定モデル、照度・時刻・霧の濃度を説明変数とする灯器輝度推定モデル、輝度推定モデルを用いた霧中における灯器の要件、についての検討結果が説明された。

5.1.4.5. デジタル画像ﾃﾞｰﾀの持つ明るさ情報を用いた視認性評価に関する研究

グレイスケールにより、輝度測定によるコントラストとピクセル値からのコントラストは相関関係があり、デジタル画像データの持つ明るさ情報による視認性評価が可能且つ実用的であることが示された。

5.1.4.6. 道路環境ファクターを考慮したカーブ発見の認知特性に関する研究

道路景観と交通施設が、運転者のカーブ曲折方向認知度に与える影響を検討したフィールド実験が紹介された。運転者は、カーブの曲折方向を、昼間は景観を基に、夜間は交通施設から判断しているとの結果であった。谷あいで正面にも山が見える上り坂でのカーブなどが、道路の曲折方向が判定しにくいカーブである。

5.1.4.7. 運転者の記憶容量とメンタルワークロード

道路標識情報を刺激として短期記憶実験を行った結果、３チャンクまでは記憶可能という結果であった。

携帯電話による会話負荷を、主観評価と反応時間で検討した。メンタルワークロードは、主観評価と客観評価の組み合わせが有効であることが示された。

（阿山みよし）

5.2. 自動車照明における基準とその問題点

自動車から見ると、夜間運転の要となっているのは、ヘッドランプである。ヘッドランプには運転者に安全な視界を提供すると共に、他の道路使用者に対して、眩しさを与えない様な配光が要求される。

ヘッドランプには 2 つの点灯モードが有り、それぞれ走行ビーム、すれ違いビームと呼ばれている。走行ビームは、他の道路使用者存在しない、単独の走行時に使用されるもので、前方の視認性のみを考慮している。一方、すれ違いビームは、対向車、先行車、歩行者等の存在する状況で使用される。そのため、運転者の視認性と他者へのグレア制御の相反する要因により、高度な配光制御が要求される。交通量が増大している今日では、単独走行の機会は少なく、従ってヘッドランプの配光、安全性等は、主にすれ違いビームに対して論じられている。

5.2.1. 各地域の規格とその特徴

自動車のヘッドランプの配光は大きく分けて欧州、米国そして日本と 3 種類の規格が存在する。これはそれぞれの国情と歴史から制定されたもので、若干の違いがあるが、基本的な考えはほとんど同一である。それでもすれ違いビームの配光に比較的特徴が現れているので、簡単に特徴を述べておく。

まず，欧州は高速走行を主体とした状況を重視し、そのため配光も遠方視認性が高い。更に対向車へのグレア規制も厳しく、明暗境界線（照射範囲とグレア規制範囲の境界）がはっきりしている。また遠方視認性を高めるため、ビームを絞り、比較的左右の広がりの少ない配光になっている。次に，米国は、前方中距離の明るさを重視しており、またグレア規制が比較的緩やかである。従って明暗境界を明確にする必要が無く、自車の運転者にとってはソフトな配光になっている。また，日本は以前、米国配光に近いものであったが、現在は欧州規格に近い要求になっている。表 5-1 に各種ランプと適用規格を示す。

表 5-1. 欧州，日本，米国における各種ランプの適用規格

欧州	ECE基準	R20	ヘッドランプ配光
		R98	放電灯ヘッドランプ配光
		R99	放電灯（光源）
		R37	自動車用電球
		R19	フォグランプ配光
		R48	車両取り付け要件
日本	保安基準	第32条	ヘッドランプ配光
	前照灯型式認定基準		ヘッドランプ配光
	車両検査基準		車検時の検査方法
	JIS	D5500	自動車用ランプ全般
米国	FMVSS	108	自動車用ランプ全般
	SAE	各項	自動車用ランプ全般

単一のランプで全ての規格を満足するのは、規格値に相反する所があるので不可能である。現在は、各向け先それぞれに配光設計が必要である。更に交通区分帯の違い（右側通行と左側通行）も有るので、同一車種でさえ数種の配光をもつヘッドランプが存在する事になる。視認性に直接関係する事ではないが、グローバル化する運転環境と生産性を考慮すると、各地域共通の配光が早期に制定される事に期待がかけられている。表 5-2. に配光規格として、国内規格である JIS D5500 を示す。

表 5-2. 前照灯の配光点と要求値

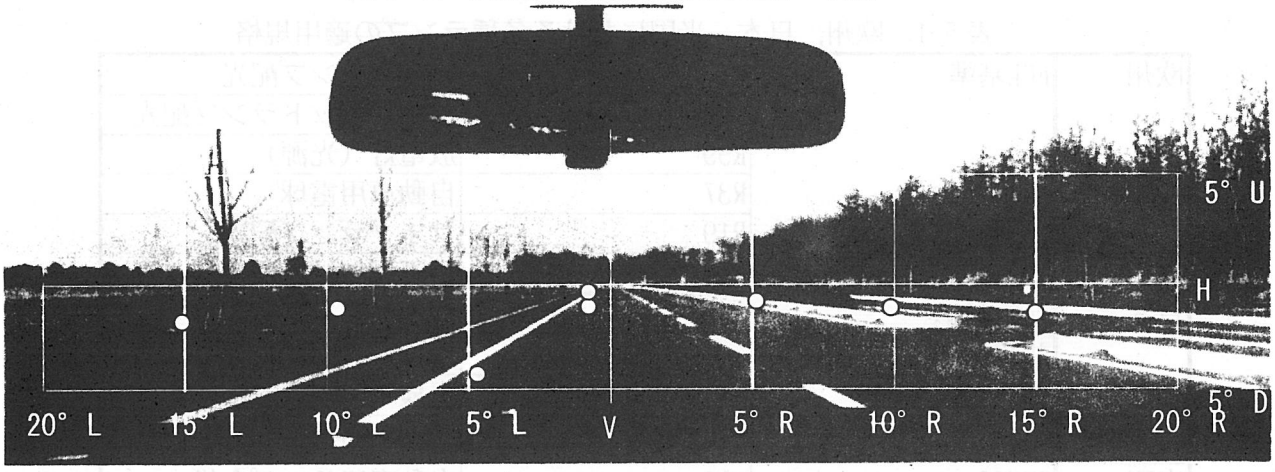
(単位 cd)

すれ違いビーム	規格	
	最大値	最小値
10U to 90U	500	---
1.5U-1.0L to L	1500	---
1.0U-1.0R to R	1300	---
0.5U-1.0L to 3.0L	2800	500
0.5U-1.0R to R	1700	---
0.5D-2.0L	15000	3000
0.5D-1.0R to R	3300	---
1D-6R	---	600
1.5D-9.0L,R	---	800
2.0D-15.0L,R	---	400
4.0D-4.0L	12500	---

走行ビーム	規格	
	最大値	最小値
3.0U-3.0L,R	---	500
2.0U-3.0L,R	---	1000
1.0U-3.0L,R	---	2000
0.5D-V	---	20000
0.5D-3.0L,R	---	10000
0.5D-6.0L,R	---	3250
0.5D-9.0L,R	---	1500
0.5D-12.0L,R	---	750
2.0D-V	---	5000
2.0D-9.0L,R	---	1500
3.0D-V	---	2500
3.0D-12.0L,R	---	750
1.5D-9.0L	---	2000
4.0D-V	---	5000
最大値	75000	---

更にこの規格の前方の視野に関するものを運転者の視界にプロットしたものを図 5-3. に示す。

図 5-3. 前照灯の配光点と実際の視界



○ が配光点の位置を示す。

5.2.2. 視認性に関する評価項目と手法

ヘッドランプの視認性評価は、主に視界という観点からの視認性と他の道路使用者へのグレア低減の 2 点から行われている。ここでは主な評価法についてのべる。

5.2.2.1. 視認性

ヘッドランプに要求される視認性は、運転中に車線を逸脱せず、かつ歩行者、路上の障害物等を避けられる様でなければならない。従って、視対象が適切な距離で発見、認知できるような配光が要求される。運転中の視対象は多岐にわたり、すべての視対象を提示する事は困難であるので、代表的な視対象物を選定し、評価している。ここで選定された視対象は、国際照明委員会 自動車照明技術委員会で提案されたものである。

視対象

小さな障害物　大きさ０．２mX０．２m 反射率５％
歩行者　大きさ１．５mX0.4m 反射率５％
白線　長さ５m幅０．１５m

これらの視対象と走行速度、制動距離、路面状況を考慮し、ヘッドランプの配光を評価している。また実際の路面での観察評価も行なわれているが、シミュレーションを用いた検討評価が増えてきている。

5.2.2.2. グレア評価手法

グレアに関しては配光規格として光度の上限値が定められている。これは他の道路使用者に対しグレアを与えないためのものである。しかし実際の道路環境では、カーブ、ランプと運転者の目との位置関係、対向車までの距離等様々な状況がある。これらの条件下でグレア評価を行なう時は、デボアスケールを用いる時が多い。デボアスケールは９点尺度で表され、１から９の奇数について、以下のそれぞれの感覚が適用される。1（耐えられない），3(邪魔)，5（許容限界），7（気にならない），9（気づく程度）．２から８の偶数はそれぞれ中間である。

実際の計算では、このデボアスケールの上に目前照度、グレア源と視線の角度等の各パラメータから計算し、数値化する必要がある。現在最も広く用いられているのはシュミットークラウゼンとビンデルスの計算式である。以下にこのモデル式を示す。

$$W = 5.0 - 2\log\frac{E_B}{C_{poo}\left[1+\sqrt{\frac{L_U}{C_{pL}}}\right]\theta^{0.46}}$$

W: デボアスケール

Eb: 運転者の眼前照度（lx）　　C_{poo}: 定数 3.0×10^{-3} $(lx \cdot min^{-0.46})$

L_U: 運転者の順応輝度（cd/m^2）　C_{pL}: 定数 4.0 x 10^{-2}（cd/m^2）

θ: 運転者の固視点とグレア光源の角度（min）

この式で１つの重要なパラメータは運転者の順応輝度（L_U）である。これはオルソン、青木、バトル、フラナガンの研究の結果、一般的なすれ違いビーム照射時で、街路灯の無い道路での運転者の順応輝度は約 1.0 cd/m^{2}であった。

ここで追加して述べておきたい事は、シュミットークラウゼンとビンデルスの計算式は実験室での研究に基づいており、実際の道路上での結果とやや異なることである。これは計算で得られた結果が、やや不快にずれる（厳しい）ことがわかっている。このことは運転状況での最大許容として求められているデボアスケールは、シュミットークラウゼンとビンデルスの計算式では、４点がであったというビゼー他（1977）の研究結果にも現れている。

最後にグレア評価で提言であるが、シュミットークラウゼンとビンデルスの計算式では、静止状態での評価しかできない。しかし実際の交通ではグレア源（対向車）の位置と眼前照度は刻々と変化するため、グレア動的な評価をする必要がある。今後、動的なグレア評価法について更なる研究が求められている。

5.2.3. 問題点の抽出

ヘッドランプの配光研究の多くは固定配光に関して行われている。このねらいは固定配光で、あらゆる状況下で、対向車に幻惑を与えず、かつ全ての運転者に満足できる様な視認点を確保する事にある。これは法規で制定された配光規格にも同様の事が言える。

しかしながらヘッドランプの設計が進歩し、より多くの光束を持つ光源が開発されているにもかかわらず、現在のすれ違いビーム（欧州、米国、日本）は、期待されている性能を十分に満足する事はできていない。一例を挙げると、屈曲路、交差点では、必要な照明がなされているとは言い難い。現在の法規では側方の照明に関し、十分な配光規定がされていない。日本と米国では最大の側方角度は１５度、欧州では９度に過ぎす、また要求光度も低い。　結果、現行のヘッドランプはカーブや交差点において十分な視認性が確保されていない可能性がある。また路面の反射率が著しく低下する雨天時の対応も問題点は指摘されているが、有効な対策がとられていない。

近年益々交通が高速度化し、また一方では自動車の運転も一般的になっており高齢者等も日常的に運転する機会が増大している。加齢による視覚系、運動系の能力低下に対しても、有効な対応が見つかっていないのが現状である。

（佐藤　孝）

参考文献

1)Bhise, V. D., Farber, E.I., Saunby, C.S., Troell, G.M., Walunas, J.B., and Bernstein, A. (1977). *Modeling vision with headlights in a system context* (SAE Technical Paper Series No.770238). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

2)de Boer, J.B. (1967). Visual perception in road traffic and the field of vision of the motorist. In J. B. de Boer (Ed.), *Public lighting* (pp. 11-96). Eindhoven, The Netherlands: Philips Technical Library.
3)Olson, Aoki, Battle and Flannagan (1990). *Development of a headlight system performance evaluation tool* (Report No. UMTRI-90-41). Ann Arbor: The University of Michigan Transportation Research Institute.
4)Sivak, M., Helmers, G., Owens, D.A., and Flannagan, M. (1992). *Evaluation of proposed low-beam headlighting patterns* (Report No. UMTRI-92-14). Ann Arbor: The University of Michigan Transportation Research Institute.
5)横井清和：前照灯とドライバの視認性、日本自動車研究所
6)JIS D-5500 自動車用ランプ類 日本規格協会

5.3. 道路標識の設置基準

道路標識は、走行中の運転者がその指示に安全に従えるよう設置場所、位置、文字の大きさである必要がある。従って誘目性、可読性が高く、また内容も理解されやすいものではならない。

5.3.1. 文字の大きさと設置位置

走行中の運転者（図 5-4）は視認点 A において標識 S の存在を知り、B 点において標識の表示内容を読み始めることが可能になる。そしてその内容を完全に読み終えることができるのが C 点であり、自分の取るべき行動を判断し、行動を開始する。この行動開始点 D から、交差点端 F（または危険個所等）までの距離を行動距離といい、この距離内で必要な車線変更あるいは減速（停止、方向変更）を安全、かつ円滑に完了しなければならない。

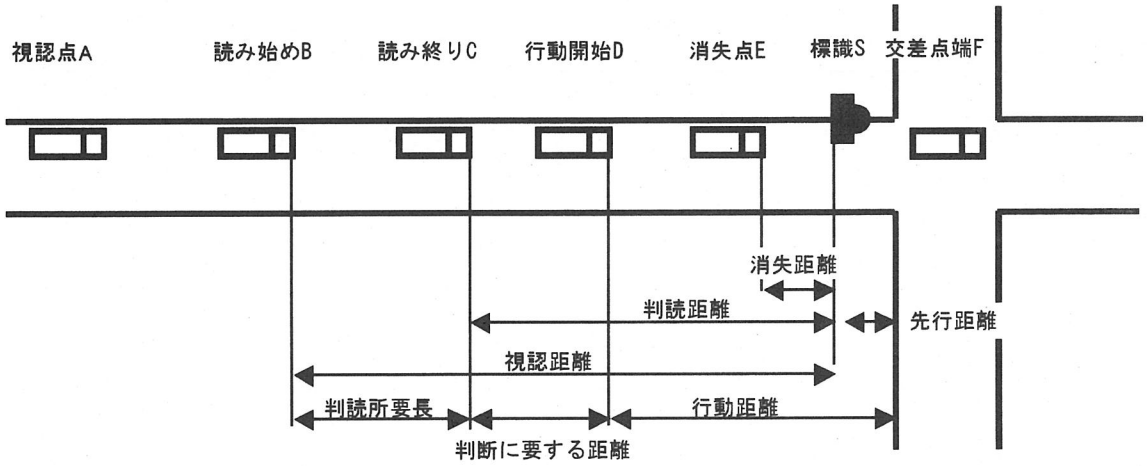


図 5-4. 標識に対する運転者の行動

表 5-3. 文字の大きさと倍率

設計速度	漢字の大きさ
70km/h以上	30cm
40～60km/h	20cm
30km/h以下	10cm

道路区分	案内標識	警戒標識
都市間高速道路	1.0	2.0 (1.0)
都市内高速道路	1.0	1.6

（ ）は設計速度 60km/h 以下の場合

但しローマ字は、大文字が漢字の 1/2、小文字が大文字の 3/4

5.3.2. 実際の設置と問題点

(1) 視覚情報の過多による認識度の低下

運転状況の複雑さ、視覚的な課題が多くなると有効視野の狭窄と周辺視のパフォーマンスの低下が見られる。

(2) 高速道路の多すぎる標識の例

色覚異常者に対して、充分には考慮されておらず、色情報が正しく伝達できない可能性がある。

小さすぎる文字サイズ、ローマ字表記での可読性が確保できていない例が多くある。また高齢者、弱視者に対する配慮も必要である。

様々な環境の変化による情報提示方法が不十分。悪天候時の対応。標識、前照灯、交通信号灯いずれも環境変化に対応していないため、適切な視認性が得られない場合がある。

（佐藤　孝）

参考文献

1)標識の設置基準 交通工学ハンドブック
2)道路標識設置基準。同解説　日本道路協会
3)視覚的注意と安全性 照明学会誌 第82巻第3号 三浦 利章
4)大都市高速道路網案内標識の人間工学的問題点 人間工学第34巻特別号 神奈川大学 堀野 定雄、他

5.4. 道路交通環境に対する提言

5.4.1. 自動車照明に関して

ヘッドランプの配光は、安全性を確保するために法規上幾つかの配光規格が定められている。しかしながら、ある状況下では必要な対象物、路面を十分に照射できない事が多々ある。たとえばカーブ路では前方の視認性が直線（図5-5.）に対し低下する。特に右カーブに関しては視認性の低下が著しい。（図5-6.）さらに交差点でも十分な照明がなされてはいない。

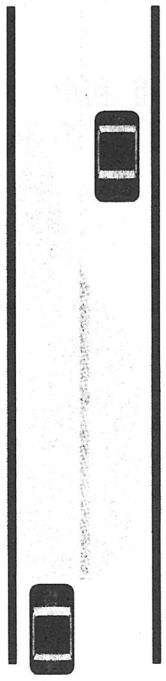


図 5-5. 直線時

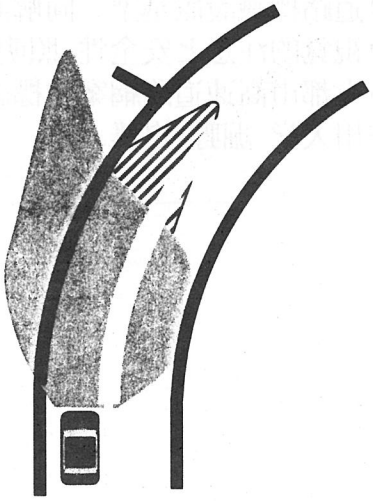


図 5-6. 右カーブ時

このような問題に対して、可変配光ヘッドランプシステムで図 5-6. 矢印の様に配光を道路状況により変化させる事により、視認性の向上が認められる。現在開発の進められている、可変配光ヘッドランプシステムは、特にカーブ路、交差点にて大幅に視認性を向上できる事が期待されている。ただし、視認性を考慮する上では自動車のヘッドランプのみならず、道路照明の融合を十分に考慮する必要がある。

様々な運転環境に対応できる自動車照明システムの実用化

現在実用化されつつある ITS(インテリジェント交通システム）では、自動車に情報通信技術を導入する事により、道路と自動車の協調による交通のシステム化を図り、交通渋滞の低減、環境への配慮、交通安全の向上等を目的としている。この ITS により、運転者に対する情報量の増加が予想されるが、視覚情報の提示方法を含め検討、研究が必要と思われる。

また運転者にとって視認性が高く、より快適で、走りやすい配光という視点

からは、規格を満足するだけでは十分とは言えない。規格値自体は安全性から見て最低限の要求値であるので、長い間変更されていない。また、運転の快適性に関わる最も重要な要因である、配光の均一性に関しては一切規定はない。また視認性に関し消費者が事前に性能（安全性）を知る事ができない点も改善すべきである。衝突安全性の評価点公開と同様に、評価法を確立し、消費者が事前に比較検討できるようにするべきである。

夜間は昼間と比較して、視界が制限される。加えて環境グレアの存在等により、運転者には負荷がさらに増大する。重大事故の多くは視認性が低下している状況で発生している。しかしながら制限された視界の中で、必要な情報のみが選択的に伝達できれば、むしろ雑情報の入り込みやすい昼間よりもうまく情報を伝えることができる可能性もある。安全な交通運転環境のためには、自動車、道路照明、標識、更に運転者への情報提示方法も含め、包括的な研究、検討が望まれている。

（佐藤　孝）

参考文献

1)インテリジェント交通システム。〈財〉交通工学研究会

2)T. Sato 他, The Smart Headlamp System with Variable Low-Beam Pattern (SAE Technical Paper Series No.2001-01-0854).

3)M. Hamm 他、System Strategies and Technology for Improved Safety and Comfort with Adaptive Headlamps (SAE Technical Paper Series No.2001-01-0299).

4)ASV 研究成果中間発表会資料。運輸省自動車局、先進安全自動車推進検討会、平成 11 年 4 月

5)Hara 他, Evaluation of AFS from driver's point of view. Progress in Automobile Lighting. Laboratory of Lighting Technology September 25-26, 2001

6)B.Woerdenweber, Contour Lighting for Safety and Appearance (SAE Technical Paper Series No.2001-01-0452).

5.4.2. 道路照明に関して

現在の道路照明の勧告では、視認性確保を目的として、平均路面輝度、均斉度、グレアの制限の各要件が示されている[1) 2) 3)]。例として、CIE の勧告に示されている道路分類を表 5-4 に、そして、それら道路分類に対して規定された視認性に関わる各要件を表 5-5 にそれぞれ示す。

表 5-4　CIE の勧告に示されている道路分類[1)]

道路区分	交通量	走行速度	交通の種類	道路の状況	例
A	大	高	自動車専用	中央分離帯あり。平面交差なし。出入りは限定場所からのみ。	高速道路
B				自動車専用で、歩行者や低速交通は分離。	幹線道路
C	大	中	自動車専用 人車混合	重要な人車混合の道路。	環状道路 放射道路
D	比較的大	低	人車混合	市内、ショッピングセンタ内の道路。	主要道路
E	中	低	人車混合	住宅地域と上記 A～D を結ぶ道路。	住宅道路

表 5-5　CIE の勧告に示されている視認性に関する要件の規定値[1)]

道路区分	道路周辺の明るさ	平均輝度 Lr (cd/m²)	総合輝度均斉度 Uo	グレア規制 相対閾値増加：TI（%）
A	明・暗	2	0.4	10
B	明 暗	2 1	0.4 0.4	10 10
C	明 暗	2 1	0.4 0.4	20 10
D	明・暗	2	0.4	20
E	明 暗	1 0.5	0.4 0.4	20 20

これら勧告に示された要件は、一様な背景に対する輝度差弁別閾の測定実験を基に平均路面輝度 Lr を規定し[4)]、実際の道路照明を想定した実験条件のもとで行われた視認性検討実験を基に総合輝度均斉度 Uo を規定し[5)]、グレアに関する等価光幕輝度の実験を基に、グレアによる一様な背景に対する輝度差弁別閾の増加率 TI の許容限界を規定している[5)]。

しかし、これら現在の道路照明の勧告に示されている各要件の値は、当時の研究段階では最善の選択だったものの、蛍光灯を用いた高欄照明など様々な照明方法が採用されてきている現在においては、いくつかの未解決な問題点を残している。

Narisada[6) 7)]は、そのひとつの問題点として、これら要件が独立的、個別的に規定されていることを挙げている。この問題により、現在の道路照明では、勧告に規定されている要件全てを満足する必要があり、例えば、平均路面輝度が勧告に規定されている値より低くても、均斉度を規定値より高くすることにより、必要な視認性を確保させるというようなことができず、結果的に過剰品質で省エネルギーに反した照明設計となっていることを指摘している。

そこでNarisada[6) 7) 8)]は、2.4節にその詳細を述べたVLを、路上落下物の可視度を評価する指標として用い、平均路面輝度や総合輝度均斉度が単独では、必ずしも路上落下物に対する視認の決定的な条件でないことを示した。そしてさらに、VL＞1となる領域の路面の面積に占める割合を用いた道路照明の性能評価方法を提案し、このVLに基づく検討により、道路照明の視認性が、平均路面輝度や総合輝度均斉度だけではなく、照明器具の配置・配列などによっても大きく影響されることを明らかにした。この検討結果は、器具配光や器具の配置・配列の設計により、同じ平均路面輝度や同じ総合輝度均斉度であっても、視認性を大きく改善できる可能性を示唆している。

以上述べてきたように、路上落下物の視認性が最優先される道路照明においては、平均路面輝度や総合輝度均斉度などの指標を用いるよりも、VLなどの視認性を直接評価できる指標を用いて検討したほうが、より省エネルギーで、より視認性の高い照明の設計ができる。実際の現場での視認性評価実験により、上記視認性評価に基づく照明設計方法の有効性を検証するなど、この分野における視認性研究の今後のさらなる進展に期待をしたい。

（岩井　彌）

参考文献

1) CIE Publication No.115, " Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic", (1981).

2) ANSI/IESNA, " Roadway Lighting", RP-8-00,(2000).

3)（社）日本道路協会：「道路照明設置基準・同解説」(1981).

4) J. B. de Boer Editor：" Public Lighting", Cleaver-Hume Press Ltd., London, UK(1967).

5) CIE Publication No.31, " Glare and Uniformity in Road Lighting Installations", (1976).

6) K. Narisada: " Blance between Energy, Environment and Visual Performance", An Invited Paper at the CIE Warsaw Session, Poland, CIE No.133, Proceedings of the 24th Session of the CIE, 1-1, pp.17-22 (1999).

7) K. Narisada: " A Method to Balance between Energy, Environment and Visual Performance", Light & Engineering, 8-1, pp.13-22 (2000).

8) K. Narisada, T. Saito, Y. Karasawa:"Perception and Road Lighting Design", Proceeding of SANCI, pp.83-86(1996).

研究調査委員会報告書の著作権について

本報告書の著作権は（社）照明学会に帰属します。

複写をされる方に

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